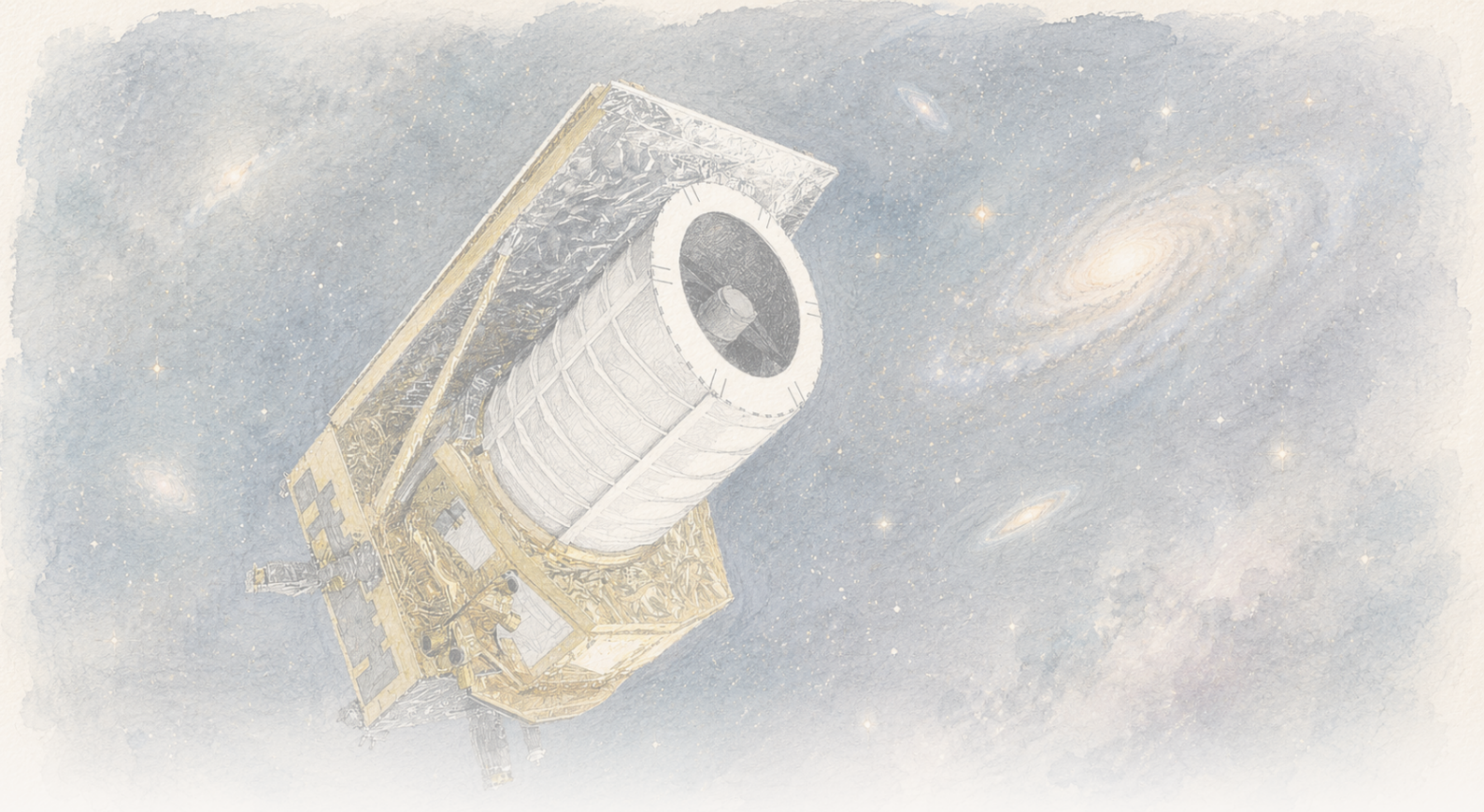


The Clean Paper

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

# Euclid daugiau nei padvigubino mažą kvazarų už raudonojo poslinkio 7 imtį

*Per pirmuosius pusantrų Euclid Wide Survey metų, apžvelgus maždaug 3000 kvadratinių laipsnių, rasta 31 naujas kvazaras tarp raudonojo poslinkio 6,6 ir 7,8. Dvylika jų yra ties 7 ar didesniu poslinkiu – tai daugiau nei padvigubino iki Euclid žinomą saujelę – o objektas ties 7,77 tapo tolimiausiu žinomu kvazaru. Tikroji pažanga nėra vien šis rekordas, kuris ribą, ilgus metus buvusią ties maždaug 7,5, pastumia tik truputį. Svarbiausia – apžvalgos gebėjimas dideliais kiekiais rasti šiuos retus ir dažniausiai blyškius objektus, todėl jie tampa naudinga ankstyvosios Visatos populiacijų imtimi. Tai pradinis rezultatas; išsami statistinė analizė ir didelė dalis spektroskopinių patvirtinimų dar laukia.*

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

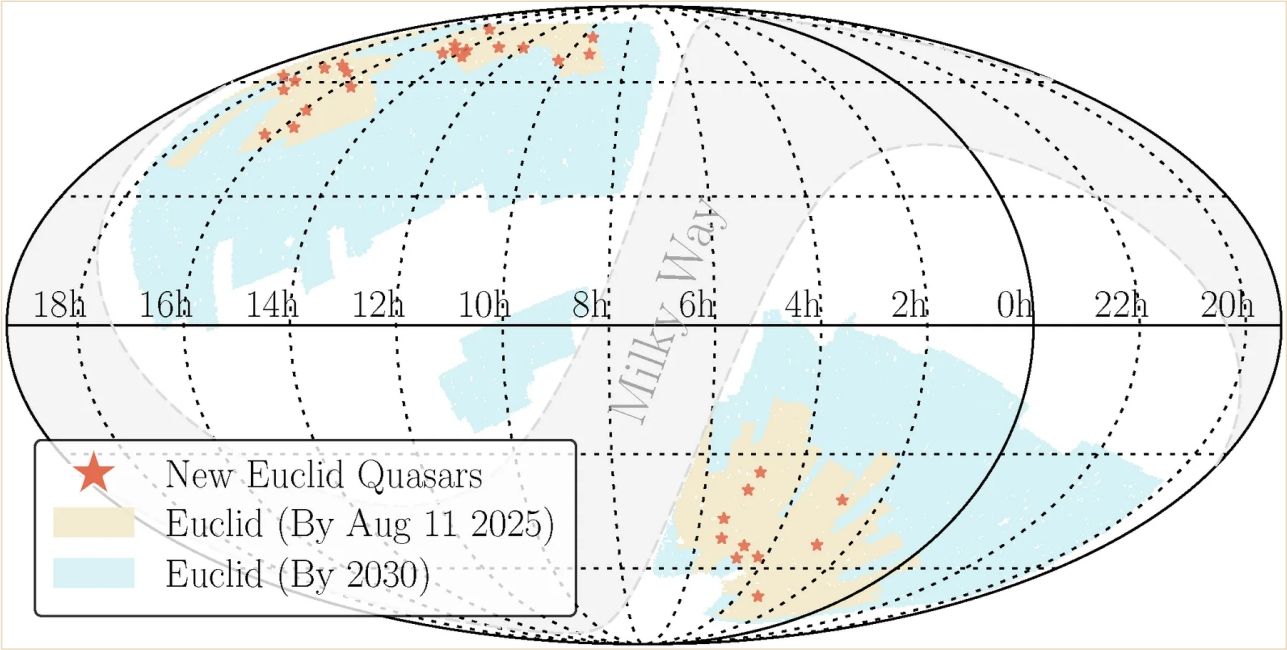
Paper: *Euclid: Discovery of 31 new quasars at 6.6 < z < 7.8*, D. Yang, J. F. Hennawi, F. Guarneri et al. (Euclid Collaboration), Astronomy & Astrophysics · DOI: 10.1051/0004-6361/202658883

# Retiems objektams skirta apžvalga ką tik rado visą jų grupę

Kvazaras – tai aktyviai medžiagą ryjanti supermasyvi juodoji skylė, kuri įkrintančias dujas paverčia tokia ryškia spinduliuote, kad gali nustelbti visą savo galaktiką. Kadangi kvazarai yra vieni ryškiausių pastovių Visatos šaltinių, jie veikia kaip švyturiai: radus pakankamai tolimą kvazarą, jo šviesa tampa tarsi žibintu, šviečiančiu pro milijardus metų tarp mūsų ir jo esančios erdvės.

Tolimiausi kvazarai – tie, kurių šviesa iškeliavo, kai Visatai dar nebuvo milijardo metų – kartu yra ir rečiausi. Iki pagrindinės Euclid kosminio teleskopo apžvalgos pradžios už raudonojo poslinkio 7 ribos buvo patvirtinta tik maždaug devyni tokie objektai; šis sąrašas pamažu augo nuo pirmojo tokio atradimo 2011 m.

Naujame *Astronomy & Astrophysics* straipsnyje Euclid bendradarbiavimo grupė praneša apie 31 naują kvazarą, kurio raudonasis poslinkis yra nuo 6,6 iki 7,8, rastą vos per pirmuosius pusantrų apžvalgos metų. Dvylika jų yra ties raudonuoju poslinkiu 7 arba dar toliau. Vien šis pradinis paieškos etapas daugiau nei padvigubino žinomą kvazarų populiaciją šiuose nuotoliuose. Pagrindinė istorija čia yra apžvalgos pajėgumas, todėl verta tiksliai atskirti, ką jis reiškia ir ko nereiškia.




Iki šiol aprėpta Euclid Wide Survey danga (smėlinė spalva), palyginta su visa iki 2030 m. planuojama teritorija (žydras kontūras); raudonai pažymėti 31 naujai atrastas didelio raudonojo poslinkio kvazaras. Jie rasti tik pirmoje apžvalgos dalyje, nors visa misija turėtų išmatuoti apie 14 000 kvadratinių laipsnių dangaus – viename vaizde matyti, kuo svarbus didelis apžvalgos plotas.

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

Iki Euclid, 2011–2024 m., ties raudonuoju poslinkiu 7 ar didesniu buvo žinoma maždaug devyni kvazarai. Vienas ankstyvas Euclid etapas pridėjo dar dvylika – „padvigubėjimas“ labai mažoje, bet dabar sparčiai augančioje imtyje.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

# Kodėl verta ieškoti tokių tolimų kvazarų

Raudonasis poslinkis parodo, kiek Visatos plėtimasis ištempė šaltinio šviesą, kol ši pasiekė mus; kuo poslinkis didesnis, tuo senesnę šviesą ir ankstesnę Visatą matome. Ties raudonuoju poslinkiu 7 žvelgiame į laiką, kai po Didžiojo sprogimo buvo praėję mažiau nei milijardas metų, į rejonizacijos epochos pabaigą, kai pirmieji ryškūs objektai jonizavo ankstyvąją erdvę užpildžiusį neutralų vandenilį.

**Kas yra raudonasis poslinkis ir kodėl jis kartu veikia kaip atstumo bei laiko matas?**

Jei terminas naujas: *raudonasis poslinkis* nusako, kiek šaltinio šviesos bangos ilgis iki mus pasiekdamas buvo ištemptas į ilgesnes, „raudonesnes“ bangas. Vienas skaičius naudingas dėl dviejų priežasčių. Pirma, šviesa sklinda baigtiniu greičiu, todėl tolimus objektus visada matome tokius, kokie jie buvo seniai – žiūrėti gilyn į erdvę reiškia žiūrėti atgal laiku. Antra, Visata per visą šviesos kelionę plėtėsi, todėl kuo kelionė ilgesnė, tuo labiau šviesa ištempiama. Taigi didesnis raudonasis poslinkis reiškia anksčiau iškeliavusią šviesą iš tolimesnio šaltinio, kai Visata buvo jaunesnė. Raudonasis poslinkis 7 čia reiškia šviesą iš laikų, kai po Didžiojo

> sprogimo buvo praėję mažiau nei milijardas metų – gerokai mažiau nei dešimtadalis dabartinio Visatos amžiaus.

Šios epochos kvazarai naudingi dėl dviejų skirtingų priežasčių. Pirma, kiekviename jau yra nuo šimtų milijonų iki milijardų Saulės masių juodoji skylė. Užauginti tokį masyvų objektą taip anksti nelengva: esant įprastoms medžiagos akrecijos greičio riboms, tik gana masyvios pradinės „sėklos“ per turimus kelis šimtus milijonų metų spėtų pasiekti tokias mases. Todėl vien šių objektų egzistavimas ir jų skaičius riboja pirmųjų supermasyvių juodųjų skylių formavimosi bei augimo scenarijus. Antra, kvazaro šviesa, keliaudama per tarpgalaktinę terpę, įgyja žymių, priklausančių nuo joje likusio neutralaus vandenilio. Todėl kiekvienas kvazaras yra ir rejonizacijos zondas.

Problema – jie nepaprastai reti ir sunkiai aptinkami. Esant tokiam raudonajam poslinkiui stipriausias kvazaro požymis, Laimano alfa lūžis, iš optinio diapazono pasislenka į artimąjį infraraudonąjį, todėl reikia gilios artimojo infraraudonojo vaizdinimo apžvalgos labai dideliame plote. Tinkamo ryškio kvazarų tenka maždaug po vieną šimtui kvadratinių laipsnių. Iš Žemės vienu metu pasiekti ir didelį gylį, ir didelį plotą artimajame infraraudonajame diapazone ilgą laiką buvo beveik neįmanoma. Būtent šią spragą Euclid ir skirtas užpildyti.

## Ką iš tikrųjų padarė Euclid

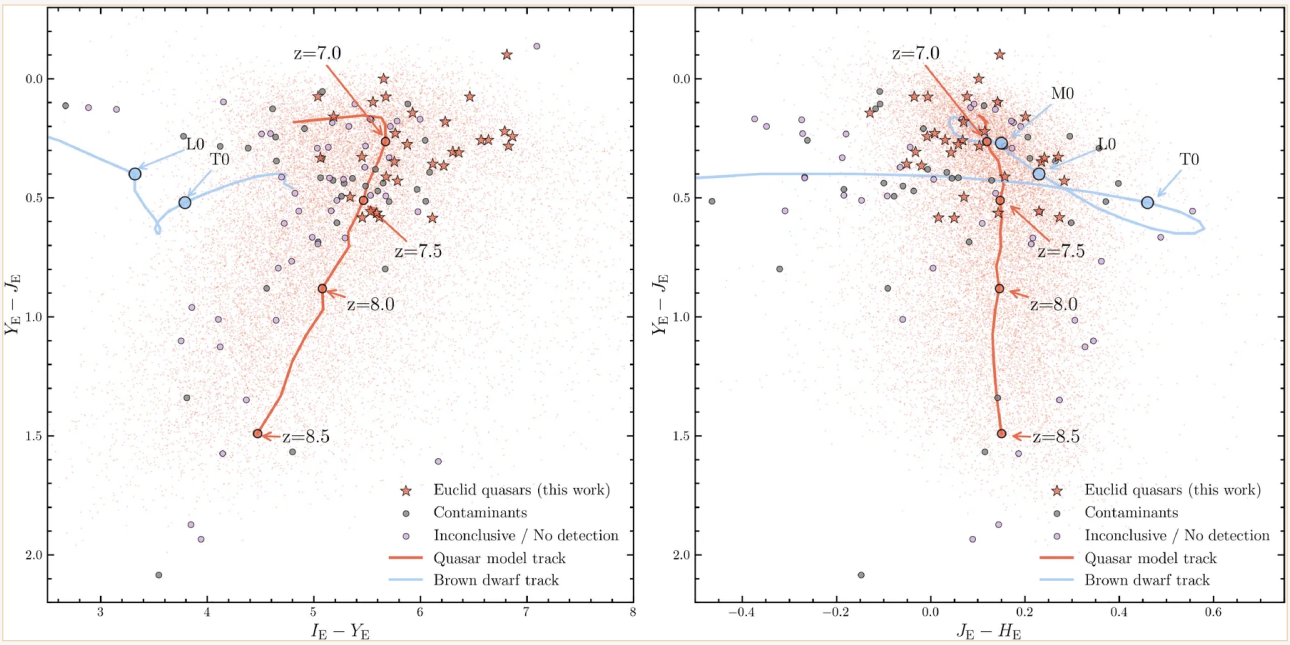
Euclid yra 1,2 metro kosminis teleskopas, vykdantis šešerių metų apžvalgą, kurios tikslas – optiniame ir artimajame infraraudonajame diapazone išmatuoti apie 14 000 kvadratinių laipsnių dangaus. Veikdamas virš atmosferos jis gali dideliame lauke pasiekti gylį, kurio antžeminės artimojo infraraudonojo apžvalgos negali lengvai prilygti. Šiame darbe naudoti pirmųjų maždaug pusantrų metų duomenys – apie 3000 kvadratinių laipsnių, stebėtų nuo 2024 m. vasario iki 2025 m. rugpjūčio.

Euclid erdvėlaivis švariojoje patalpoje prieš paleidimą. 1,2 metro teleskopas žvelgia pro balto cilindro viršų; virš atmosferos jo plataus lauko artimojo infraraudonojo kamera gali dideliame plote pasiekti gylį, su kuriuo sunku konkuruoti antžeminėms paieškoms.

ESA / NASA Science fair-use

Rasti 31 adatą šiame šieno kupetoje nepakako vien „pažiūrėti“. Komanda sukūrė specialią fotometriją ir pritaikė kelis mašininio mokymosi bei tikimybinius klasifikatorius – ekstremalaus dekonvoliavimo tankio modelį, gradientinio stiprinimo klasifikatorių ir šablonais paremtą derinimą. Kiekvienam blyškiam taškiniam šaltiniui jie vertino tikimybę, kad tai didelio raudonojo poslinkio kvazaras, o ne vienas iš daug gausesnių klaidintojų – pirmiausia vėsių rudųjų nykštukių, kurių spalvos gali priminti tolimą kvazarą. Kandidatai buvo lyginami tarp metodų, tikrinami akimis ir rikiuojami tolesniems stebėjimams. Euclid vaizdai atrenka kandidatus, o patvirtinimą pateikia didžiųjų antžeminių teleskopų, tarp jų Magellan ir Large Binocular Telescope, spektrai, kuriuose galima matyti būdingą lūžį bei emisijos linijas.

Patvirtinimo etapas vis dar vyksta, ir autoriai to neslepia. Spektroskopiniai stebėjimai dar nepasiekė visiško išsamumo, ypač pietiniame danguje. Iš stebėtų kandidatų, kurie nepateko tarp 31 patvirtinto kvazaro, daugelis pasirodė esą klaidinantys objektai (nemaža dalis tikriausiai rudosios nykštukės), kai kurių rezultatai liko neaiškūs, o kai kurių signalas apskritai nebuvo aptiktas. Patvirtintų kvazarų grupė yra antraštė; išsamus atrankos efektyvumo ir praleidžiamų objektų apskaitos darbas paliktas vėlesnėms publikacijoms.



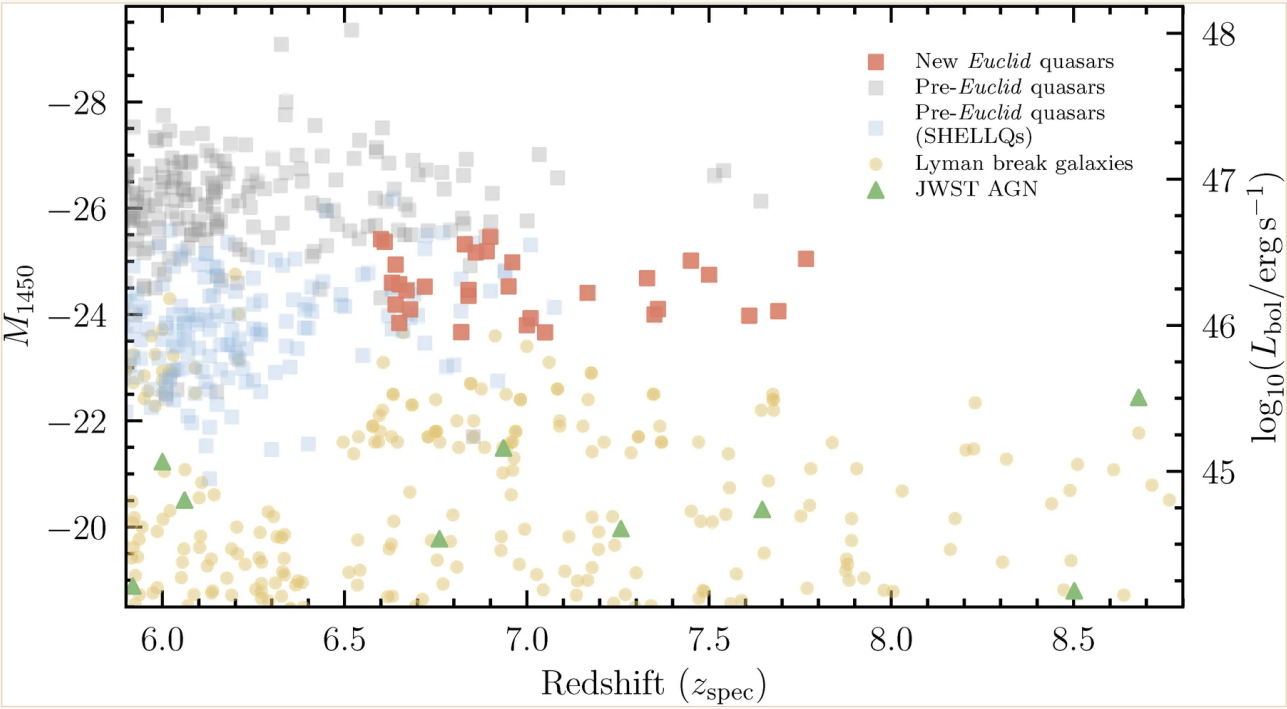

Spalva–spalva diagrama rodo, kaip Euclid skiria tolimą kvazarą nuo netolimos rudosios nykštukės. Kiekviena ašis žymi objekto ryškio skirtumą dviejuose Euclid filtruose, taigi aprašo šviesos spalvą, o ne bendrą ryškį. Raudona kreivė rodo numatomą didelio raudonojo poslinkio kvazarų kelią (žymos nurodo raudonąjį poslinkį nuo 7,0 iki 8,5), šviesiai mėlyna – pagrindinių klaidintojų, vėsių rudųjų nykštukių, kelią nuo M0 iki T0 tipų. 31 naujas kvazaras (raudonos žvaigždės) išsidėsto palei kvazarų taką; patvirtinti klaidintojai (pilki) ir neaiškūs ar neaptikti kandidatai (violetiniai) nuo jo nutolsta. Ten, kur abu takai priartėja, vien spalvos nepakanka – todėl kiekvienam kvazarui vis dar reikia spektroskopinio patvirtinimo.

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

# Rekordas, bet tinkamo masto

Vienas iš 31 objekto, kataloge pažymėtas EUCL J1729+6410, turi maždaug 7,77 raudonąjį poslinkį ir šiuo metu yra tolimiausias žinomas kvazaras. Rekordas tikras, tačiau verta pasakyti ir jo žingsnio dydį. Per du dešimtmečius kryptingos paieškos riba buvo nustumta iki maždaug 7,5, o ankstesnis rekordininkas turėjo apie 7,64 poslinkį. Perėjimas iki 7,77 yra reali, bet laipsniška pažanga – apie 0,13 raudonojo poslinkio vieneto, arba maždaug penkiolika milijonų metų kosminio laiko. Pastūmėjimas, ne šuolis.

Svarbesnis yra kitas skaičius: viena ankstyva apžvalgos dalis padvigubino kvazarų imtį virš raudonojo poslinkio 7. Vienas rekordininkas yra vienas duomenų taškas. Dvigubėjanti ir toliau auganti populiacija jau leidžia daryti statistiką – matuoti, kaip dažni buvo tokie juodieji skylės, kokio ryškio ir kaip telkėsi erdvėje. Būtent statistikoje slypi ankstyvosios Visatos populiacijų mokslas. Be to, dauguma naujų kvazarų palyginti blyškūs – maždaug viena ar dvi žvaigždinio ryškio klasės silpnesni už prieš Euclid rastus ryškius kvazarus. Šį blyškųjį galą sunkiau pasiekti, tačiau rejonizacijos tyrimams jis ypač vertingas: silpnesni kvazarai aplink save sukuria mažesnius jonizuoto vandenilio burbulus, todėl jų šviesa pereina per didesnę dar neutralios tarpgalaktinės terpės dalį.




Naujų kvazarų padėtis: tikrasis ryškis palygintas su kosminiu nuotoliu. Horizontalioji ašis rodo raudonąjį poslinkį – kuo dešiniau, tuo ankstesnis Visatos laikotarpis. Vertikalioji ašis žymi vidinį ultravioletinį ryškį M1450; pagal seną astronominių ryškių skalę ji eina „atbulai“, todėl aukščiau esantys objektai yra ryškesni (dešinėje pateikta ta pati informacija kaip bendrasis, arba bolometrinis, šviesis). Taip skaitoma diagrama tampa gyventojų surašymu. Ankstesni ryškūs kvazarai (pilki) telkiasi mažesniuose raudonuosiuose poslinkiuose; gilesnė SHELLQs apžvalga (šviesiai mėlyna) pasiekė blyškesnius objektus, bet ne daug ankstesnį laiką. 31 naujas Euclid kvazaras (raudoni) pratęsia šią populiaciją iki didžiausių poslinkių – dešiniausias yra rekordininkas ties 7,77 – ir kartu yra maždaug viena ar dvi ryškio klasės silpnesni už klasikinius ryškius kvazarus. Dar žemiau lieka sritis, kurią pasiekia tik gilios, siauros apžvalgos: daugybė Lymano lūžio galaktikų (geltonos) ir saujelė labai silpnų akrecinių juodųjų skylių, kurias JWST aptiko (žali trikampiai). Euclid indėlis matomas kaip atskira grupė – palyginti ryškūs kvazarai labai ankstyvu laiku dideliame dangaus plote, jungiantys seną ryškią imtį su blyškesne populiacija.

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

# Kas dar neaišku

Su rezultatu keliauja trys išlygos, ir visas tris autoriai aiškiai įvardija.

Pirma, tai pradinis rezultatas, o ne galutinis matavimas. Išsami atrankos funkcijos ir kvazarų populiacijos statistinė analizė sąmoningai atidėta būsimoms publikacijoms. Dabartiniai šviesio funkcijos apribojimai yra pirmas žvilgsnis, ne paskutinis žodis.

Antra, ne kiekvienas blyškus „kvazaras“ būtinai juo ir pasirodys. Blyškiausiame gale kai kurie kvazarais laikomi objektai gali būti kompaktiškos ankstyvos galaktikos, ypač jei nėra ryškiai išplatintos Lymano alfa linijos. Komanda preliminariai patikrino, kad objektai labiau atitinka taškinius šaltinius nei išplėstas galaktikas, tačiau patys šį patikrinimą vadina preliminariu: gili artimojo infraraudonojo spektroskopija su JWST ir panašiais instrumentais turės nustatyti tikrąją blyškiausių objektų prigimtį.

Trečia, patys objektai yra blyškūs ir arti ribos, kurią antžeminė spektroskopija gali išsamiai charakterizuoti. Jų juodųjų skylių masėms, aplinkai ir vaidmeniui rejonizacijoje nustatyti reikės JWST, ALMA ir NOEMA. Euclid puikiai moka šiuos objektus *surasti*; išsamesnį jų tyrimą daugiausia perima kiti instrumentai.

## Kodėl tai svarbu

Šio darbo vertė – demografinė. Dešimtmetį astronomai apie pirmąjį Visatos milijardą metų turėjo samprotauti remdamiesi vos keliomis kvazarų saujelėmis. Vien pirmoje savo apžvalgos dalyje Euclid pridėjo tiek, kad sąrašas ėmė virsti imtimi – ir pagal prieš paleidimą darytas prognozes šis augimas turėtų tęstis.

Tai svarbu, nes čia atviri klausimai yra populiaciniai. Kaip juodosios skylės taip greitai užaugo tokios didelės? Kiek skirtingais laikais tarpgalaktinėse dujose liko neutralaus vandenilio ir kaip netolygiai jis pasiskirstė? Į tokius klausimus neatsako vienas įspūdingas objektas; atsako daugelio objektų skaičiavimas, lyginimas ir žemėlapių sudarymas. Euclid pademonstravo gebėjimą tokį surašymą kurti – taip pat ir blyškiame populiacijos gale, kuris siejasi su keista akrecinių juodųjų skylių grupe, JWST randama toje pačioje epochoje. Šis straipsnis neišsprendžia pirmųjų juodųjų skylių formavimosi problemos ir pats nematuoja rejonizacijos. Jis dideliais kiekiais pateikia žaliavą, kurios tiems matavimams reikia, ir nustato aiškų tikslą jau vykstantiems tolesniems stebėjimams.

## Trumpa santrauka

Naudodama pirmuosius maždaug 3000 kvadratinių laipsnių Euclid Wide Survey duomenis, Euclid bendradarbiavimo grupė atrado 31 naują kvazarą, kurio raudonasis poslinkis yra 6,6–7,8. Dvylika jų yra ties raudonuoju poslinkiu 7 ar didesniu – tai daugiau nei padvigubino iki Euclid žinomą populiaciją – o objektas ties 7,77 dabar yra tolimiausias žinomas kvazaras. Svarbiausias rezultatas nėra laipsniškas atstumo rekordas, o įrodytas apžvalgos gebėjimas dideliais kiekiais rasti šiuos retus ir dažniausiai blyškius objektus. Tai pradinis rezultatas: išsami statistinė analizė, didelė dalis spektroskopinio patvirtinimo ir detali atskirų objektų charakterizacija dar laukia.

## Be pagražinimų

**Ką rodo tyrimas:** per pirmuosius maždaug 1,5 metų ir apie 3000 kvadratinių laipsnių Euclid Wide Survey gali rasti didelio raudonojo poslinkio kvazarus tokiais kiekiais, kokių ankstesnės apžvalgos nepasiekė – 31 patvirtintas objektas tarp 6,6 ir 7,8, dvylika ties 7 ar daugiau, maždaug padvigubinant ten žinomą skaičių, o tolimiausias yra ties ~7,77.

**Kas tikra, bet ne pagrindinė mintis:** pats raudonojo poslinkio rekordas. Jis realus, tačiau ribą pastu-

mia tik maždaug 0,13 – nuo ankstesnio ~7,64 iki 7,77, arba apie penkiolika milijonų metų kosminio laiko. Ilgiau išliekanti antraštė yra padvigubėjusi, auganti ir neįprastai blyški imtis, o ne vienas rekordininkas.

**Ko tyrimas nerodo:** kaip susiformavo pirmosios supermasyvios juodosios skylės ir nepateikia rejonizacijos matavimo. Šie kvazarai yra įrankiai tokiems klausimams, o ne galutiniai atsakymai. Tai taip pat nėra galutinis populiacijos surašymas – išsami statistika aiškiai palikta vėlesniems darbams.

**Pagrindiniai ribotumai bendram skaitytojui:** spektroskopinis stebėjimas dar nepilnas, ypač pietiniame danguje; šviesio funkcijos rezultatai preliminarūs; kai kurie blyškiausi kvazarais laikomi objektai gali pasirodyti ankstyvomis galaktikomis, kol jų nepatvirtins JWST lygio spektroskopija.

**Kiek pasitikėti turėtų bendrasis skaitytojas?** Tvirtai – kad Euclid iš esmės pakeitė tai, kiek tokių objektų galima rasti šiuose raudonuosiuose poslinkiuose, ir tvirtai dėl recenzuotai patvirtintų ryškesnių objektų. Mažiau – dėl tikslaus blyškiosios populiacijos gausumo ir pačių silpniausių kandidatų prigimties; pagal pačių autorių formuluotę tai pirmieji, o ne galutiniai rezultatai.

## Šaltiniai

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