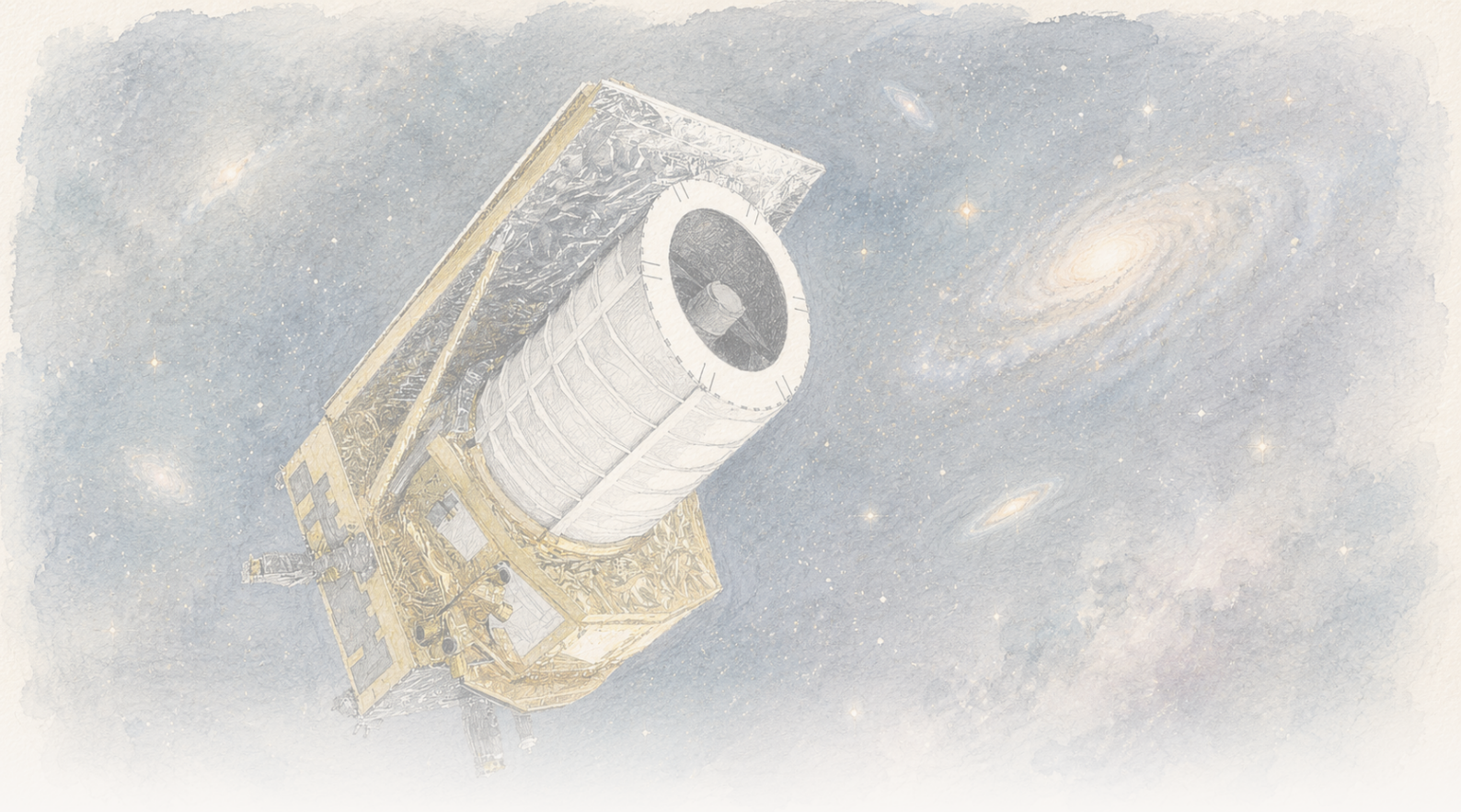


The Clean Paper

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

Euclid lebih dari menggandakan sampel kecil quasar dari luar redshift 7

Dalam satu setengah tahun pertama Euclid Wide Survey, pencarian di sekitar 3.000 derajat persegi menemukan 31 quasar baru antara redshift 6,6 dan 7,8. Dua belas berada pada redshift 7 atau lebih, lebih dari menggandakan segelintir yang dikenal di sana sebelum Euclid, dan satu pada redshift 7,77 kini menjadi quasar terjauh dalam catatan. Kemajuan nyata bukan satu rekor itu, yang hanya mendorong sedikit frontier yang sudah bertahun-tahun berada dekat redshift 7,5: melainkan kemampuan survei menemukan objek langka dan kebanyakan redup ini dalam jumlah besar, yang membuatnya berguna sebagai probe Alam Semesta muda. Ini hasil awal, dengan analisis statistik penuh dan banyak konfirmasi spektroskopi masih akan datang.

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

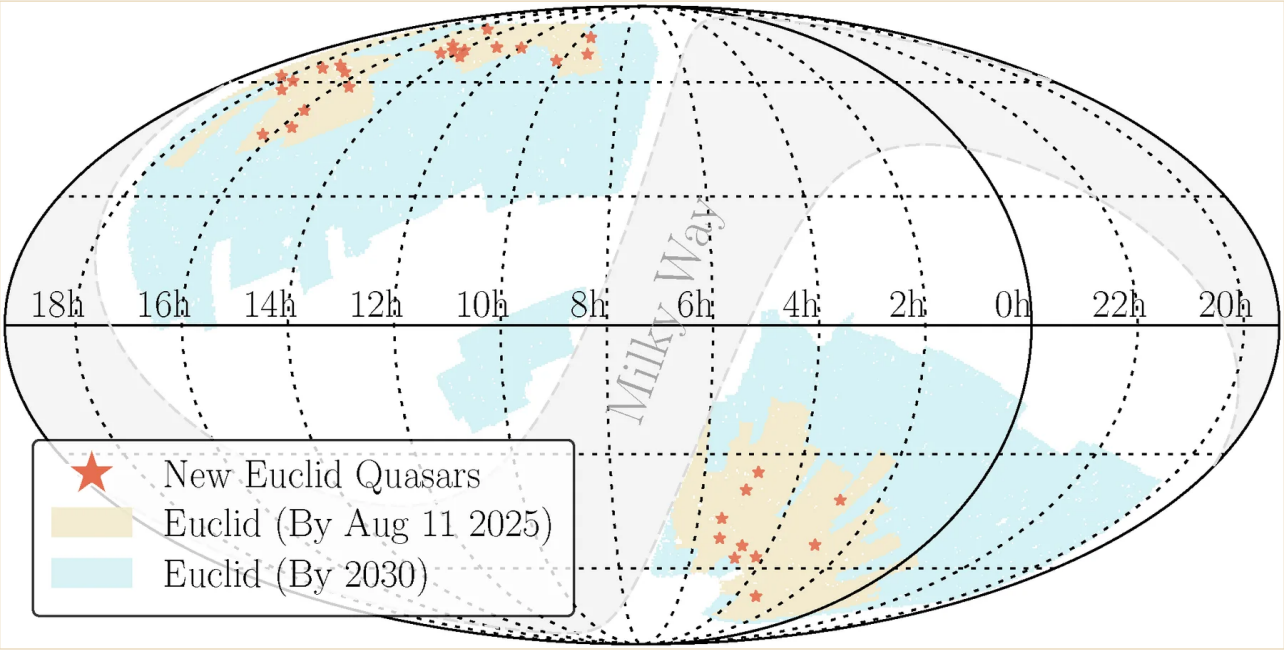
Paper: *Euclid: Discovery of 31 new quasars at 6.6 < z < 7.8*, D. Yang, J. F. Hennawi, F. Guarneri et al. (Euclid Collaboration), Astronomy & Astrophysics · DOI: 10.1051/0004-6361/202658883

Survei yang dibangun untuk benda langka baru saja menemukan satu rombongan sekaligus

Sebuah quasar adalah lubang hitam supermasif yang tertangkap sedang makan, bersinar begitu terang saat menelan gas hingga dapat mengalahkan seluruh galaksi induknya. Karena termasuk sumber stabil paling bercahaya di Alam Semesta, quasar dapat berfungsi sebagai suar: temukan satu yang cukup jauh, dan cahayanya menjadi lampu yang ditempatkan di belakang miliaran tahun ruang di antaranya.

Quasar terjauh, yang cahayanya berangkat ketika Alam Semesta berumur kurang dari satu miliar tahun, juga yang paling langka. Sebelum teleskop ruang angkasa Euclid memulai survei utamanya, hanya sekitar sembilan yang telah dikonfirmasi melampaui redshift 7 — jumlah yang terkumpul perlahan sejak penemuan pertama pada 2011.

Dalam makalah baru di *Astronomy & Astrophysics*, Euclid Collaboration melaporkan 31 quasar baru antara redshift 6,6 dan 7,8, ditemukan hanya dalam satu setengah tahun pertama survei. Dua belas di antaranya berada pada redshift 7 atau lebih. Satu putaran awal ini saja lebih dari menggandakan populasi yang diketahui pada redshift tersebut. Ini cerita tentang kekuatan survei, dan penting untuk tepat mengenai apa arti hasil itu — dan apa yang tidak.



Area Euclid Wide Survey yang sudah tercakup sejauh ini (krem) dibanding footprint penuh yang direncanakan hingga 2030 (sian), dengan 31 quasar redshift tinggi baru ditandai merah. Semuanya berasal dari irisan pertama survei yang pada akhirnya dirancang memetakan sekitar 14.000 derajat persegi — cerita kekuatan survei dalam satu gambar.

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

Sebelum Euclid, sekitar sembilan quasar diketahui melampaui redshift 7 (2011–2024). Satu putaran awal ini menambahkan dua belas lagi — "penggandaan" dibuat konkret, pada sampel yang masih kecil.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Mengapa quasar sejauh ini layak dikejar

Redshift mengukur seberapa banyak ekspansi Alam Semesta meregangkan cahaya sumber selama perjalanan ke kita; redshift lebih tinggi berarti cahaya lebih tua dan Alam Semesta yang lebih dini. Pada redshift 7, kita melihat kembali ke masa kurang dari satu miliar tahun setelah Big Bang, di penghujung zaman reionisasi, ketika objek bercahaya pertama menghapus kabut hidrogen netral yang memenuhi ruang awal.

Apa itu redshift, dan mengapa ia sekaligus menjadi jarak dan jam

Jika istilahnya baru: *redshift* adalah seberapa banyak cahaya sebuah sumber telah diregangkan ke panjang gelombang yang lebih panjang dan merah ketika mencapai kita. Dua hal membuat satu angka itu begitu berguna. Pertama, cahaya bergerak dengan kecepatan tetap, jadi sesuatu yang jauh juga kita lihat pada masa lampau — melihat jauh ke ruang berarti melihat mundur dalam waktu. Kedua, karena Alam Semesta mengembang selama perjalanan cahaya, semakin panjang perjalanannya semakin banyak cahaya diregangkan. Jadi redshift lebih besar berarti cahaya berangkat lebih dini, dari lebih jauh, ketika kosmos lebih muda. Redshift 7 di sini adalah cahaya dari kurang dari satu miliar tahun setelah Big Bang — jauh di bawah

> sepersepuluh usia Alam Semesta sekarang.

Quasar dari zaman ini berguna untuk dua alasan terpisah. Pertama, masing-masing sudah memiliki lubang hitam bermassa ratusan juta hingga miliaran Matahari. Menumbuhkan sesuatu seberat itu begitu dini sulit: dengan batas biasa pada laju akresi lubang hitam, hanya “seed” yang cukup masif yang punya waktu mencapai massa tersebut dalam beberapa ratus juta tahun yang tersedia. Jadi keberadaan dan sensus objek ini saja sudah membatasi bagaimana lubang hitam supermasif pertama terbentuk dan tumbuh. Kedua, cahaya quasar yang melewati medium antargalaksi di sekitarnya membawa jejak seberapa netral gas tersebut, sehingga setiap quasar menjadi probe reionisasi itu sendiri.

Masalahnya, mereka sangat langka dan sulit ditemukan. Pada redshift ini, fitur terkuat quasar, Lyman-alpha break, diregangkan keluar dari optik ke inframerah dekat, sehingga diperlukan pencitraan inframerah dekat yang dalam di area luas — kira-kira satu quasar per seratus derajat persegi sampai kecerahan relevan. Kombinasi dalam sekaligus luas pada inframerah dekat dari permukaan Bumi selama ini sangat sulit. Itulah celah yang dibangun Euclid untuk ditutup.

Apa yang sebenarnya dilakukan Euclid

Euclid adalah teleskop ruang angkasa 1,2 meter yang menjalankan survei enam tahun untuk memetakan sekitar 14.000 derajat persegi langit dalam cahaya optik dan inframerah dekat. Berada di atas atmosfer memungkinkannya mencapai kedalaman pada bidang luas yang tidak dapat ditandingi survei inframerah dekat dari Bumi. Makalah ini memakai data yang masuk selama kira-kira satu setengah tahun pertama — sekitar 3.000 derajat persegi yang diamati antara Februari 2024 dan Agustus 2025.

Wahana Euclid di cleanroom sebelum peluncuran. Teleskop 1,2 meter mengamati langit melalui bagian atas silinder putih; dari atas atmosfer, kamera inframerah-dekat bidang lebarnya mencapai kedalaman di area luas yang sulit ditandingi pencarian dari Bumi.

ESA / NASA Science fair-use

Menemukan 31 jarum dalam tumpukan jerami itu bukan sekadar melihat-lihat. Tim membangun fotometri khusus lalu menjalankan beberapa pengklasifikasi pembelajaran mesin dan model probabilistik — model densitas extreme-deconvolution, pengklasifikasi gradient-boosted, serta fit berbasis template — untuk memperkirakan, bagi setiap sumber titik redup, probabilitas bahwa ia quasar redshift tinggi alih-alih kontaminan yang jauh lebih banyak, terutama katai cokelat dingin yang warnanya menyerupai quasar jauh. Kandidat diperiksa silang antarmetode, diperiksa dengan mata, dan diprioritaskan untuk tindak lanjut. Citra Euclid memilih kandidat; konfirmasinya datang dari spektrum teleskop besar di Bumi — termasuk Magellan dan Large Binocular Telescope — yang memecah cahaya cukup halus untuk melihat break dan garis emisi khas.

Tahap konfirmasi itu masih pekerjaan yang berlangsung. Tindak lanjut spektroskopi belum lengkap dan, menurut makalah sendiri, terutama belum tuntas di langit selatan. Untuk kandidat yang sudah ditindaklanjuti tetapi tidak menjadi bagian dari 31 quasar terkonfirmasi, makalah memberi rincian yang transparan: banyak adalah kontaminan (sebagian besar mungkin brown dwarf), beberapa tidak konklusif, dan beberapa tidak menunjukkan sinyal terdeteksi. Sekumpulan quasar terkonfirmasi adalah judul utama; perhitungan penuh mengenai apa yang ditangkap dan dilewatkan seleksi akan datang dalam makalah berikutnya.

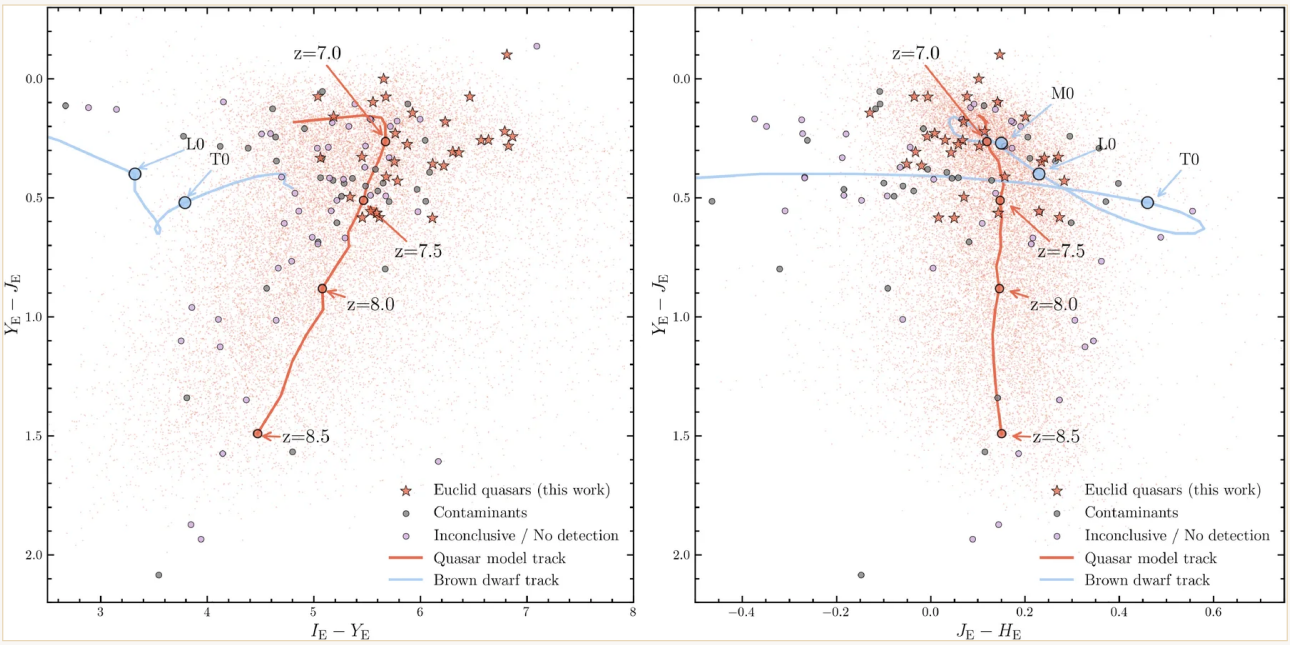


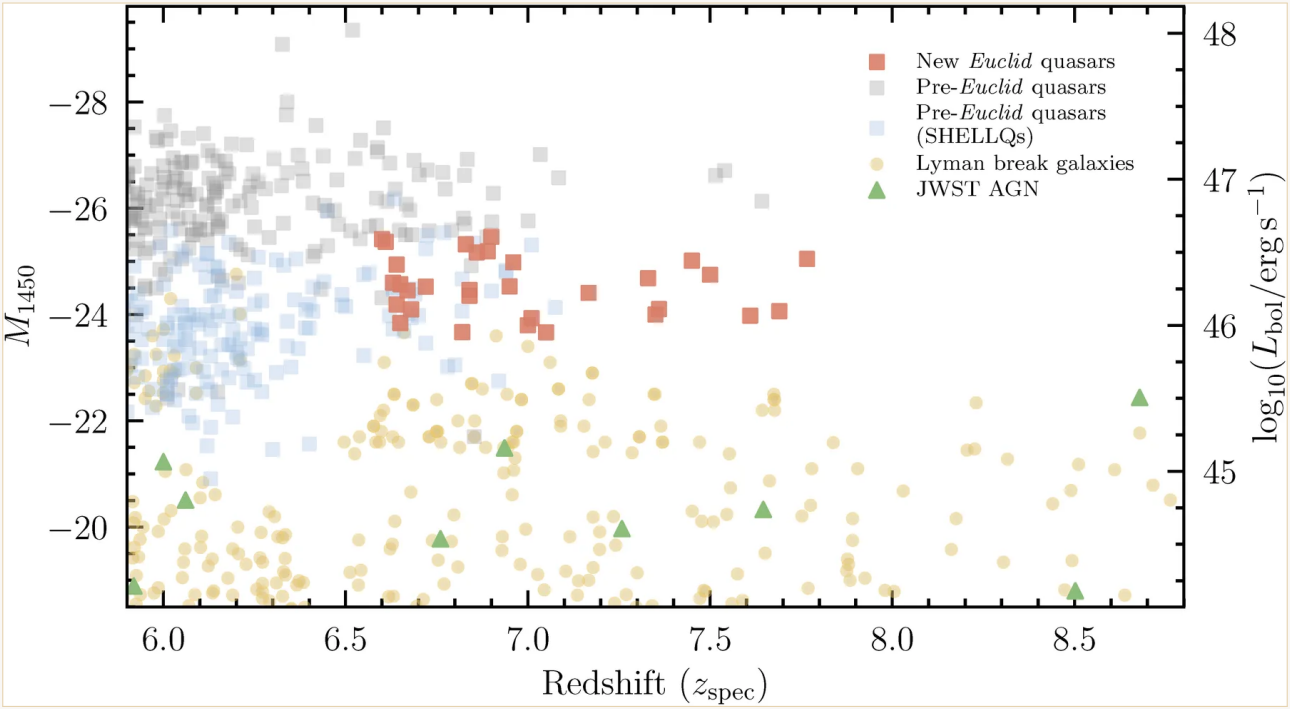
Diagram warna–warna: bagaimana Euclid membedakan quasar jauh dari brown dwarf dekat. Setiap sumbu menunjukkan selisih kecerahan objek dalam dua filter Euclid, sehingga menangkap warna cahaya alih-alih sekadar kecerahan. Kurva merah menelusuri lokasi yang diprediksi bagi quasar redshift tinggi (label menandai redshift 7,0 hingga 8,5); kurva biru muda menelusuri katai cokelat dingin — penyamar utama — berlabel tipe M0 hingga T0. Ke-31 quasar baru (bintang merah) berbaris di jalur quasar; kontaminan terkonfirmasi (abu-abu) serta kandidat tidak konklusif atau tidak terdeteksi (ungu) menjauh darinya. Di tempat kedua jalur berdekatan, warna saja tidak dapat memutuskan — itulah mengapa setiap quasar tetap memerlukan konfirmasi spektroskopi.

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

Rekor, dalam proporsi yang tepat

Salah satu dari 31 objek, berkatalog EUCL J1729+6410, berada pada redshift sekitar 7,77 dan kini menjadi quasar terjauh yang diketahui. Itu rekor nyata, dan perlu dinyatakan jelas seberapa besar langkahnya. Selama dua dekade pencarian khusus, frontier telah didorong hingga sekitar redshift 7,5, dengan pemegang rekor sebelumnya sekitar 7,64. Menggesernya ke 7,77 adalah kemajuan nyata tetapi inkremental — makalah menyebut kenaikan sekitar 0,13 dalam redshift, kira-kira lima belas juta tahun waktu kosmik. Sebuah dorongan, bukan lompatan.

Angka yang lebih konsekuensial adalah yang lain: menggandakan sampel di atas redshift 7 dalam satu putaran awal. Satu pemegang rekor adalah satu objek, dan satu objek adalah satu titik data. Populasi yang berlipat dan terus tumbuh memungkinkan statistik — mengukur seberapa umum lubang hitam ini, seberapa terang, seberapa mengelompok — dan statistiklah tempat sains Alam Semesta awal sebenarnya hidup. Sebagian besar quasar baru juga relatif redup, satu hingga dua magnitudo lebih redup daripada quasar bercahaya yang ditemukan sebelum Euclid. Ujung redup ini lebih sulit dicapai dan, untuk studi reionisasi, lebih berharga: quasar redup membentuk gelembung terionisasi lebih kecil di sekelilingnya, sehingga cahayanya mengambil sampel lebih banyak gas yang masih netral.



Posisi quasar baru: kecerahan terhadap jarak kosmik. Sumbu horizontal adalah redshift — semakin ke kanan berarti semakin dini dalam sejarah kosmik. Sumbu vertikal adalah kecerahan ultraviolet intrinsik tiap quasar, diberi label M1450; karena konvensi magnitudo astronomi lama berjalan terbalik, semakin ke atas berarti semakin terang (skala kanan menyatakan hal sama sebagai luminositas total atau *bolometric*). Dibaca demikian, plot ini adalah sensus. Quasar terang yang sudah dikenal (abu-abu) menumpuk pada redshift lebih rendah; survei lebih dalam, SHELLQs (biru muda), telah mencapai objek lebih redup tetapi tidak jauh lebih awal. Ke-31 quasar Euclid baru (merah) memperpanjang populasi terang itu ke redshift tertinggi — titik paling kanan adalah pemegang rekor 7,77 — sambil berada sekitar satu hingga dua magnitudo lebih redup daripada quasar terang klasik. Di bawahnya ada wilayah yang hanya dicapai survei dalam dan sempit: lautan Lyman-break galaxy (kuning) dan segelintir lubang hitam berakresi sangat redup yang ditemukan JWST (segitiga hijau). Kontribusi Euclid muncul sebagai kelompok khas — quasar relatif terang, sangat dini, di area luas — menjembatani sampel terang lama menuju populasi redup yang untuk saat ini hanya dapat dijangkau instrumen terarah.

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

Apa yang masih tidak pasti

Tiga caveat mengikuti hasil ini, dan semuanya dinyatakan makalah sendiri.

Pertama, ini hasil awal, bukan pengukuran final. Para penulis secara eksplisit menahan analisis statistik lengkap terhadap fungsi seleksi dan populasi quasar untuk publikasi berikutnya. Batasan luminosity function di sini adalah pandangan pertama, bukan kata terakhir.

Kedua, tidak setiap “quasar” redup dijamin benar-benar quasar. Pada ujung redup, beberapa objek yang diidentifikasi sebagai quasar bisa jadi galaksi awal kompak, terutama jika tidak memiliki garis Lyman-alpha yang melebar kuat. Tim memberi pemeriksaan awal bahwa objek konsisten sebagai sumber titik alih-alih galaksi extended, tetapi menyebutnya preliminary: spektroskopi inframerah dekat dalam dari JWST dan fasilitas serupa yang akan menentukan sifat sebenarnya dari objek paling

redup.

Ketiga, objeknya sendiri redup dan berada dekat batas kemampuan spektroskopi dari Bumi. Menentukan massa lubang hitam, lingkungan sekitarnya, dan posisi dalam cerita reionisasi akan membutuhkan JWST, ALMA, dan NOEMA. Euclid sangat baik menemukan objek ini; untuk mempelajarinya mendalam, ia sebagian besar menyerahkan tugas ke instrumen lain.

Mengapa ini penting

Nilai pekerjaan ini bersifat demografis. Selama satu dekade, satu miliar tahun pertama Alam Semesta hanya memberi astronom segelintir quasar untuk dijadikan dasar pemikiran. Euclid, dalam satu irisan awal surveinya, menambahkan cukup banyak untuk mengubah daftar menjadi sampel — dan sejauh ini berada di jalur yang konsisten dengan prediksi sebelum peluncuran untuk terus bertambah.

Itu penting karena pertanyaan terbuka di sini adalah pertanyaan populasi. Bagaimana lubang hitam menjadi begitu besar begitu cepat? Seberapa bercak-bercak dan seberapa netral gas antargalaksi pada berbagai zaman? Itu tidak dijawab oleh satu objek spektakuler; jawabannya datang dari menghitung, membandingkan, dan memetakan banyak objek. Yang telah didemonstrasikan Euclid adalah kemampuan membangun sensus itu — termasuk di ujung redup, yang menghubungkan ke populasi membingungkan lubang hitam berakresi yang ditemukan JWST pada zaman sama. Makalah ini tidak menyelesaikan bagaimana lubang hitam pertama terbentuk, dan tidak dengan sendirinya mengukur reionisasi. Ia memasok bahan mentah, dalam jumlah besar, yang dibutuhkan pengukuran tersebut, serta menetapkan frontier jelas bagi kampanye tindak lanjut yang sudah berjalan.

Singkatnya

Dengan sekitar 3.000 derajat persegi pertama Euclid Wide Survey, Euclid Collaboration menemukan 31 quasar baru antara redshift 6,6 dan 7,8, dua belas di antaranya pada redshift 7 atau lebih — lebih dari menggandakan populasi yang diketahui di sana — termasuk satu pada redshift 7,77 yang kini merupakan quasar terjauh dalam catatan. Yang penting adalah kekuatan survei yang telah didemonstrasikan untuk menemukan objek langka dan kebanyakan redup ini dalam jumlah besar, bukan rekor redshift inkremental satu objek. Hasilnya masih rilis data awal: analisis statistik penuh, banyak konfirmasi spektroskopi, dan karakterisasi rinci objek individu masih akan datang.

Penilaian tanpa berlebihan

Apa yang ditunjukkan makalah: Euclid Wide Survey, dalam ~1,5 tahun pertama di ~3.000 derajat persegi, dapat menemukan quasar redshift tinggi dalam jumlah yang belum pernah dicapai survei

sebelumnya — 31 terkonfirmasi antara redshift 6,6 dan 7,8, dua belas pada redshift 7 atau lebih, kira-kira menggandakan jumlah yang diketahui di sana, dengan yang terjauh pada redshift ~7,77.

Apa yang masuk akal tetapi bukan inti: Rekor redshift itu sendiri. Rekornya nyata, tetapi frontier hanya bergeser sekitar 0,13 dalam redshift — dari rekor sebelumnya dekat 7,64 menjadi 7,77, sekitar lima belas juta tahun waktu kosmik. Judul utama yang layak diingat adalah sampel yang berlipat, tumbuh, dan luar biasa redup, bukan satu pemegang rekor.

Apa yang tidak ditunjukkan: Bagaimana lubang hitam supermasif pertama terbentuk, atau pengukuran reionisasi. Quasar-quasar ini adalah alat untuk pertanyaan tersebut, bukan jawabannya. Ini juga bukan sensus populasi final — analisis statistik lengkap secara eksplisit ditinggalkan untuk makalah berikutnya.

Keterbatasan utama bagi pembaca umum: Tindak lanjut spektroskopi belum lengkap, terutama di selatan; hasil luminosity function masih bersifat sementara; dan sebagian objek paling redup yang diberi label quasar dapat ternyata galaksi awal sampai spektroskopi kelas JWST mengonfirmasinya.

Seberapa besar keyakinan yang sebaiknya dimiliki pembaca umum? Tinggi bahwa Euclid telah mengubah apa yang dapat ditemukan pada redshift ini, dan tinggi pada konfirmasi peer-reviewed bagi objek yang lebih terang. Lebih rendah, sesuai framing penulis, untuk angka presisi populasi ujung redup dan sifat kandidat paling redup — ini hasil pertama, bukan hal yang sudah selesai.

Sumber

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