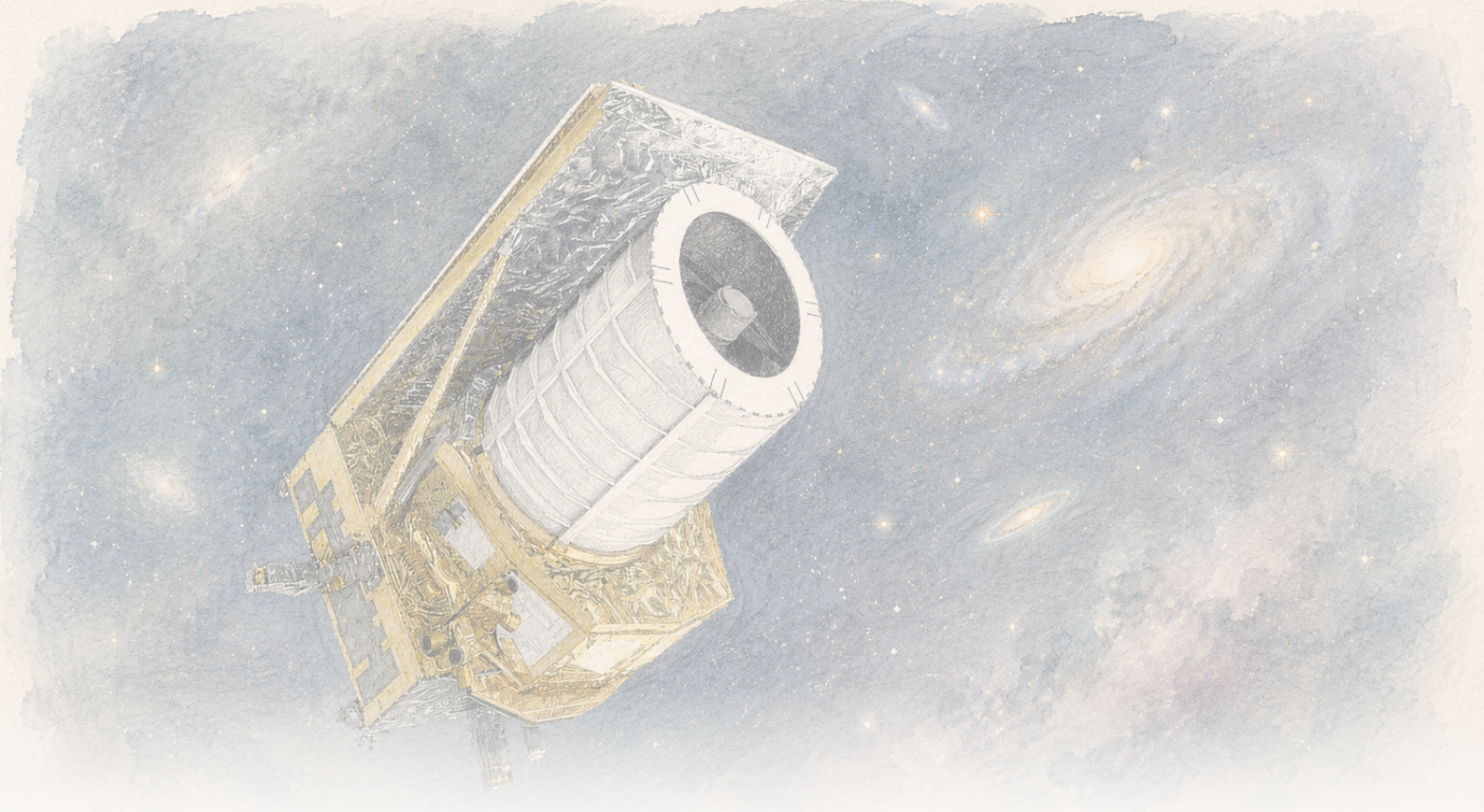


The Clean Paper

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

Euclid lebih daripada menggandakan sampel kecil kuasar dari melepasi anjakan merah 7

Dalam satu setengah tahun pertama Euclid Wide Survey, carian meliputi kira-kira 3000 darjah persegi menemui 31 kuasar baharu antara anjakan merah 6.6 dan 7.8. Dua belas daripadanya berada pada anjakan merah 7 atau lebih tinggi, lebih daripada menggandakan segelintir yang diketahui di sana sebelum Euclid, dan satu pada anjakan merah 7.77 kini ialah kuasar paling jauh dalam rekod. Kemajuan sebenar bukan satu rekod itu, yang hanya menggerakkan sedikit sempadan yang selama bertahun-tahun berada sekitar anjakan merah 7.5: kemajuannya ialah kuasa tinjauan untuk menemukan objek jarang dan kebanyakannya malap ini secara pukal, yang menjadikannya berguna sebagai prob Alam Semesta muda. Ini hasil awal, dengan analisis statistik penuh dan sebahagian besar pengesahan 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

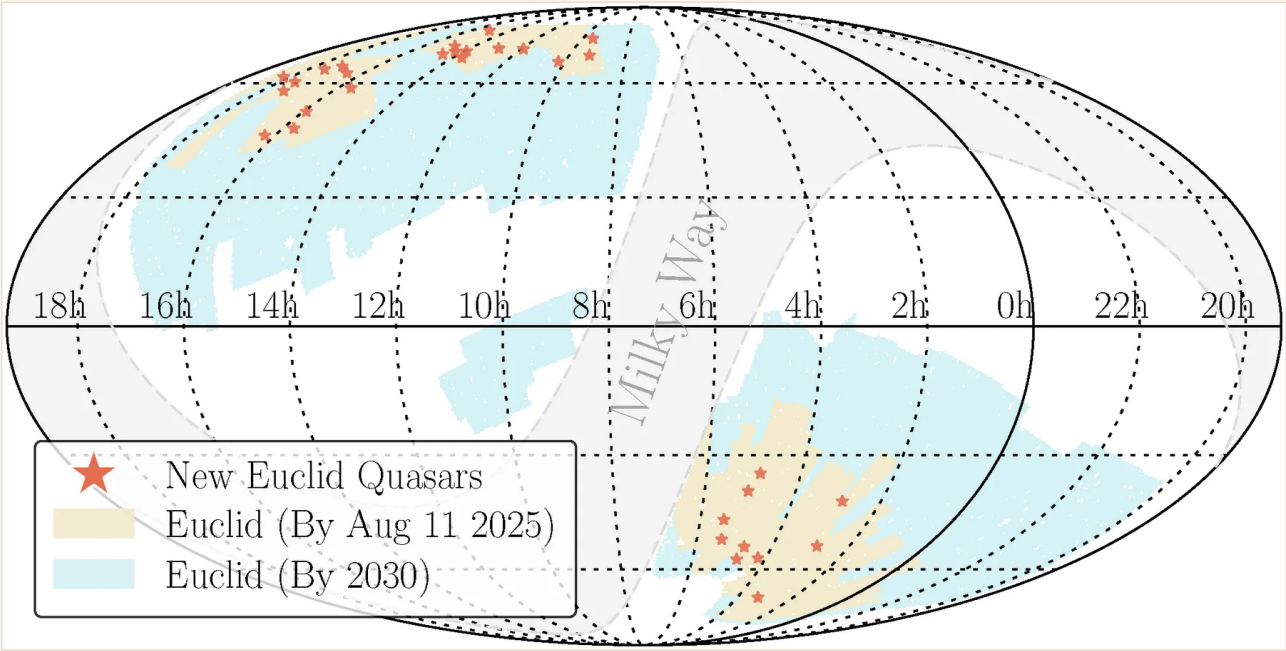
Paper: *Euclid: Discovery of 31 new quasars at 6.6 < z < 7.8*, D. Yang, J. F. Hennawi, F. Guarneri et al. (Euclid Collaboration), Astronomy & Astrophysics · DOI: 10.1051/0004-6361/202658883

Tinjauan yang dibina untuk perkara jarang baru sahaja menemukan sekumpulan daripadanya

Sebuah kuasar ialah lohong hitam supermasif yang sedang aktif memakan bahan, bersinar begitu terang ketika menelan gas sehingga boleh mengatasi cahaya seluruh galaksi induknya. Oleh sebab ia antara sumber tetap paling bercahaya di Alam Semesta, kuasar berfungsi seperti suar: temui satu yang cukup jauh dan cahayanya menjadi lampu yang diletakkan di belakang berbilion tahun ruang di antaranya.

Kuasar paling jauh, yang cahayanya berangkat ketika Alam Semesta berusia kurang daripada satu bilion tahun, juga yang paling jarang. Sebelum teleskop angkasa Euclid memulakan tinjauan utamanya, hanya kira-kira sembilan daripadanya telah disahkan melepasi anjakan merah 7 — jumlah yang dibina perlahan-lahan sejak penemuan pertama seumpamanya pada 2011.

Dalam kertas baharu di *Astronomy & Astrophysics*, Euclid Collaboration melaporkan 31 kuasar baharu antara anjakan merah 6.6 dan 7.8, ditemui hanya dalam satu setengah tahun pertama tinjauan. Dua belas daripadanya berada pada anjakan merah 7 atau lebih. Satu pusingan itu sahaja lebih daripada menggandakan populasi diketahui pada anjakan merah tersebut. Ini cerita tentang kuasa tinjauan, dan wajar dijelaskan dengan tepat apa yang dimaksudkan dan apa yang tidak.



Kawasan Euclid Wide Survey yang telah diliputi setakat ini (kuning air) berbanding jejak penuh yang dirancang menjelang 2030 (sian), dengan 31 kuasar anjakan merah tinggi yang baharu ditemui ditandakan merah. Semuanya datang hanya daripada hirisan pertama tinjauan yang akhirnya direka untuk memetakan kira-kira 14,000 darjah persegi — cerita kuasa tinjauan dalam satu gambar.

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

Sebelum Euclid, kira-kira sembilan kuasar diketahui melepasi anjakan merah 7 (2011–2024). Pusingan awal ini menambah dua belas lagi — "penggandaan" yang menjadi nyata, pada sampel yang masih kecil.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Mengapa kuasar sejauh ini berbaloi dicari

Anjakan merah mengukur sejauh mana pengembangan Alam Semesta meregangkan cahaya sesuatu sumber dalam perjalanannya kepada kita; anjakan merah lebih tinggi bermaksud cahaya lebih tua dan Alam Semesta yang lebih awal. Pada anjakan merah 7, kita melihat kembali ke kurang daripada satu bilion tahun selepas Dentuman Besar, ke bahagian akhir zaman reionisasi, apabila objek bercahaya pertama sedang menghapuskan kabus hidrogen neutral yang memenuhi ruang awal.

Apakah anjakan merah, dan mengapa ia serentak menjadi ukuran jarak dan jam

Jika istilah ini baharu: *anjakan merah* ialah sejauh mana cahaya sumber telah diregangkan kepada panjang gelombang yang lebih panjang dan lebih merah ketika sampai kepada kita. Dua perkara menjadikan satu nombor itu sangat berguna. Pertama, cahaya bergerak pada kelajuan tetap, jadi apa-apa yang jauh juga dilihat pada masa lalu — melihat jauh ke ruang bermaksud melihat kembali dalam masa. Kedua, kerana Alam Semesta terus berkembang sepanjang perjalanan cahaya, semakin panjang perjalanan itu, semakin banyak cahaya diregangkan. Jadi anjakan merah lebih besar bermaksud cahaya yang berangkat lebih awal, dari lebih jauh, ketika kosmos lebih muda. Anjakan merah 7 di sini ialah cahaya dari bawah

> satu bilion tahun selepas Dentuman Besar — jauh di bawah satu persepuluh umur Alam Semesta hari ini.

Kuasar dari zaman ini berguna kerana dua sebab berasingan. Pertama, setiap satu sudah mempunyai lohong hitam dengan jisim ratusan juta hingga berbilion jisim Matahari. Membesarkan sesuatu seberat itu begitu awal adalah sukar: di bawah had biasa bagi berapa pantas lohong hitam boleh mengakret bahan, hanya "benih" yang cukup masif mempunyai masa untuk mencapai jisim tersebut dalam beberapa ratus juta tahun yang tersedia. Maka kewujudan dan bancian objek ini sahaja mengehadkan bagaimana lohong hitam supermasif pertama terbentuk dan membesar. Kedua, cahaya kuasar yang melalui medium antara galaksi di sekeliling membawa cap tentang sejauh mana gas itu masih neutral, menjadikan setiap kuasar prob bagi reionisasi itu sendiri.

Masalahnya ialah ia luar biasa jarang dan sukar ditangkap. Pada anjakan merah ini, ciri paling kuat kuasar, putus Lyman-alpha, diregangkan keluar daripada optik ke inframerah dekat, jadi untuk menemuinya diperlukan pengimejan inframerah dekat yang dalam di kawasan luas — kira-kira satu kuasar bagi setiap seratus darjah persegi hingga tahap kecerahan berkaitan. Dalam dan luas pada inframerah dekat, dari tanah, tepat gabungan yang selama ini amat sukar dilakukan. Itulah jurang yang dibina Euclid untuk ditutup.

Apa yang sebenarnya dilakukan Euclid

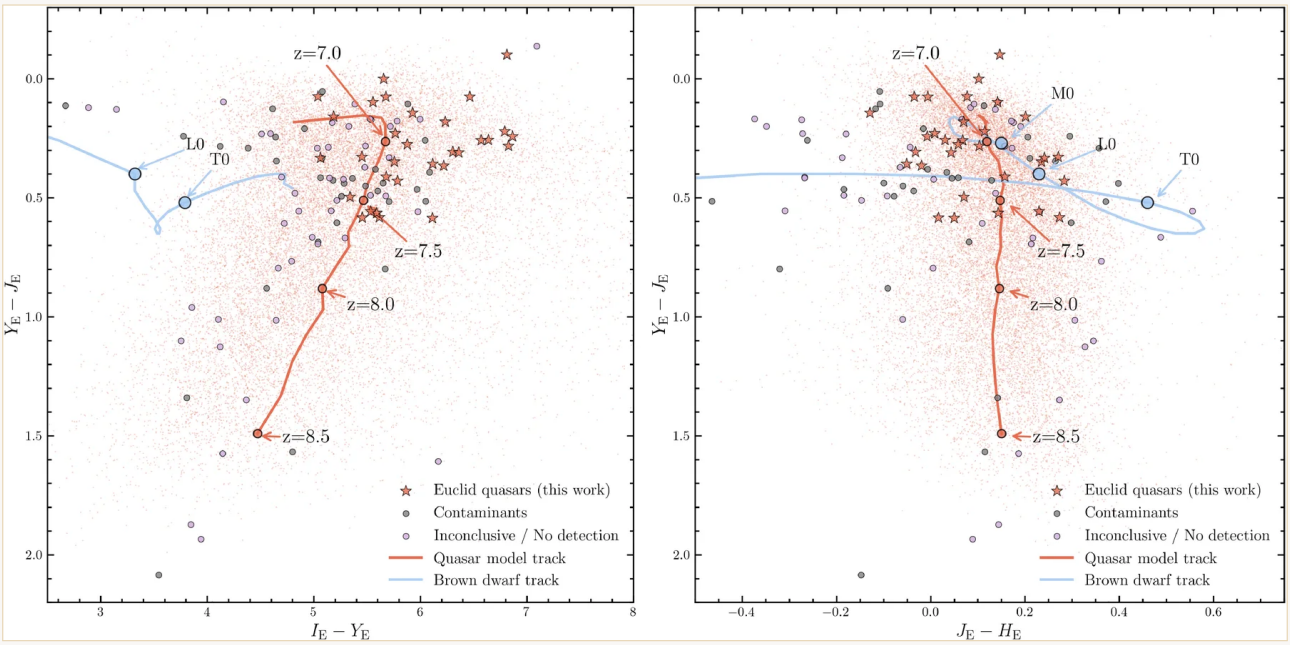
Euclid ialah teleskop angkasa 1.2 meter yang menjalankan tinjauan enam tahun untuk memetakan kira-kira 14,000 darjah persegi langit dalam cahaya optik dan inframerah dekat. Berada di atas atmosfera membolehkannya mencapai kedalaman pada medan luas yang tidak boleh ditandingi tinjauan inframerah dekat dari tanah. Kertas ini menggunakan data yang masuk dalam kira-kira satu setengah tahun pertama tinjauan — sekitar 3000 darjah persegi yang diperhatikan antara Februari 2024 dan Ogos 2025.

Kapal angkasa Euclid di bilik bersih sebelum pelancaran. Teleskop 1.2 meter melihat langit melalui bahagian atas silinder putih; dari atas atmosfera, kamera inframerah dekat medan luasnya mencapai kedalaman di kawasan luas yang tidak boleh ditandingi carian dari tanah.

ESA / NASA Science fair-use

Menemui 31 jarum dalam timbunan jerami itu bukan sekadar soal melihat. Pasukan membina fotometri tersuai kemudian menjalankan beberapa pengelas pembelajaran mesin dan probabilistik ke atasnya — model ketumpatan extreme-deconvolution, pengelas gradient-boosted, dan pemadanan berasaskan templat — untuk menganggarkan bagi setiap sumber titik malap kebarangkalian bahawa ia kuasar anjakan merah tinggi dan bukannya salah satu pencemar yang jauh lebih banyak, terutamanya katai perang sejuk yang warnanya menyerupai kuasar jauh. Calon diperiksa silang antara kaedah, diperiksa secara visual, dan diberi keutamaan untuk susulan. Imej Euclid sendiri memilih calon; pengesahan datang daripada spektrum yang diambil dengan teleskop besar di darat — termasuk Magellan dan Large Binocular Telescope — yang memecahkan cahaya cukup halus untuk melihat putus dan garis pancaran yang menjadi tanda pengenalan.

Langkah pengesahan itu secara jujur masih kerja berjalan. Susulan spektroskopi sedang diteruskan dan, dalam kata-kata kertas sendiri, belum mencapai kelengkapan penuh, khususnya di langit selatan. Bagi calon yang disusuli tetapi tidak menjadi salah satu daripada 31 kuasar disahkan, kertas menerangkannya secara terus: banyak ialah pencemar (sebahagian besar mungkin katai perang), sesetengah tidak konklusif, dan sesetengah tiada isyarat dapat dikesan. Sekumpulan kuasar disahkan ialah tajuk utama; perakaunan penuh tentang apa yang ditangkap dan terlepas oleh pemilihan itu ditangguhkan kepada kertas kemudian.



Rajah warna-warna: bagaimana Euclid membezakan kuasar jauh daripada katai perang berdekatan. Setiap paksi menunjukkan perbezaan kecerahan objek dalam dua penapis Euclid, menangkap warna cahayanya dan bukannya berapa terang ia. Lengkung merah menjejak tempat kuasar anjakan merah tinggi diramalkan berada (label menandakan anjakan merah 7.0 hingga 8.5); lengkung biru muda menjejak katai perang sejuk — penyamar utama — dilabel mengikut jenis dari M0 hingga T0. 31 kuasar baharu (bintang merah) berbaris sepanjang jejak kuasar; pencemar disahkan (kelabu) dan calon tidak konklusif atau tidak dikesan (ungu) jatuh jauh daripadanya. Apabila dua jejak hampir bertemu, warna sahaja tidak dapat memutuskan — sebab itu setiap kuasar masih memerlukan pengesahan spektroskopi.

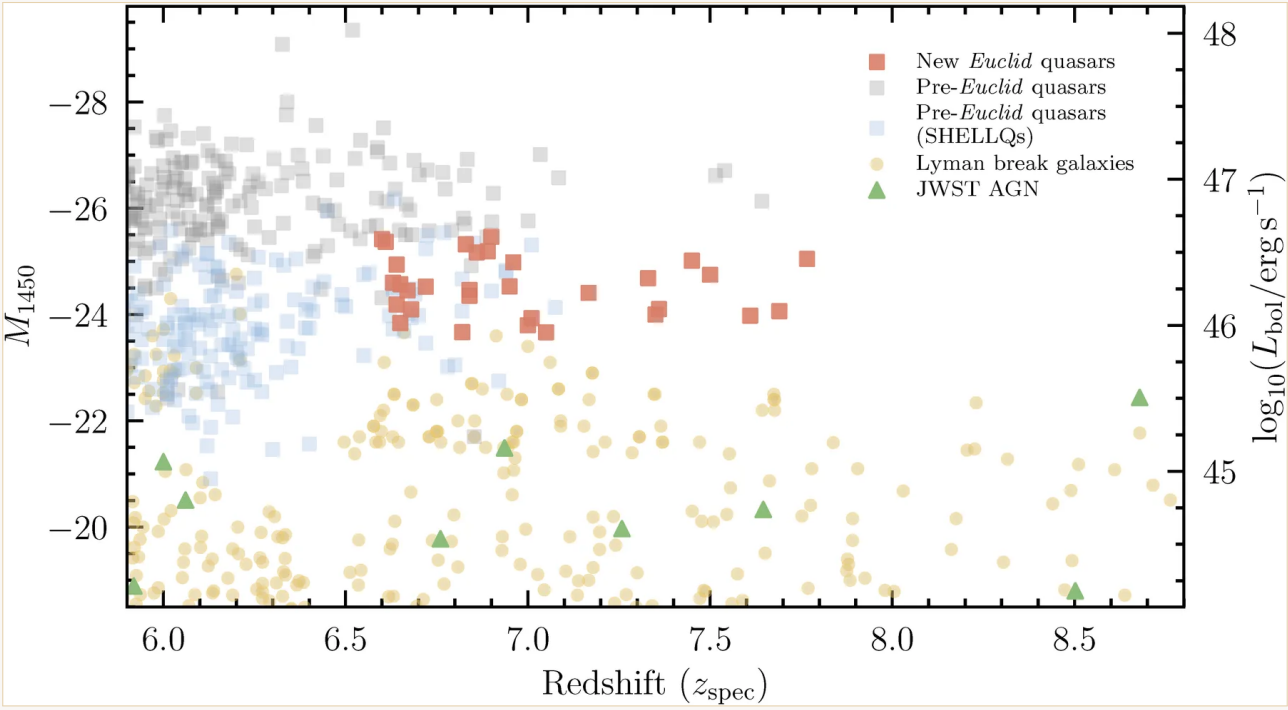
D. Yang et al. / Euclid Collaboration / Astronomy & Astrophysics CC BY 4.0

Rekod itu, dalam perkadaran yang betul

Satu daripada 31, dikatalogkan sebagai EUCL J1729+6410, berada pada anjakan merah kira-kira 7.77 dan kini ialah kuasar paling jauh yang diketahui. Ia rekod sebenar, dan berbaloi menyatakan dengan jelas sebesar mana langkah itu. Sepanjang dua dekad carian khusus, sempadan telah ditolak ke sekitar anjakan merah 7.5, dengan pemegang rekod sebelumnya sekitar 7.64. Menggerakkannya ke 7.77 ialah kemajuan tulen tetapi beransur-ansur — kertas meletakkan pertambahan sekitar 0.13 dalam anjakan merah, kira-kira lima belas juta tahun masa kosmik. Satu tolakan kecil, bukan lompatan.

Nombor yang lebih penting ialah yang satu lagi: menggandakan sampel di atas anjakan merah 7 dalam satu pusingan awal. Pemegang rekod ialah satu objek, dan satu objek ialah satu titik data. Populasi yang digandakan dan terus membesar membolehkan statistik dilakukan — mengukur sejauh mana lazimnya lohong hitam ini, berapa terang, bagaimana ia berkelompok — dan statistik ialah tempat sains Alam Semesta awal benar-benar hidup. Kebanyakan kuasar baharu juga secara perbandingan malap, satu hingga dua magnitud lebih malap daripada kuasar bercahaya yang ditemui sebelum Euclid. Hujung malap itu lebih sukar dicapai dan, untuk kajian reionisasi, lebih bernilai: kuasar lebih malap membentuk gelembung terion lebih kecil di sekelilingnya, jadi cahayanya menyampel lebih

banyak gas yang masih neutral.



Di mana kuasar baharu berada: kecerahan berbanding jarak kosmik. Paksi mendatar ialah anjakan merah — lebih ke kanan bermaksud lebih awal dalam sejarah kosmik. Paksi menegak ialah kecerahan ultraungu intrinsik setiap kuasar, dilabel M1450 pada plot; mengikut konvensyen lama magnitud astronomi ia bergerak terbalik, jadi lebih tinggi bermaksud lebih terang (skala kanan menyatakan perkara sama sebagai luminositi keseluruhan, atau *bolometrik*). Dibaca begitu, plot ini ialah bancian. Kuasar terang yang diketahui sebelum ini (kelabu) berkumpul pada anjakan merah lebih rendah; tinjauan lebih dalam, SHELLQs (biru muda), mencapai objek lebih malap tetapi tidak jauh lebih ke belakang dalam masa. 31 kuasar Euclid baharu (merah) memanjangkan populasi bercahaya itu hingga anjakan merah tertinggi — yang paling kanan ialah pemegang rekod pada 7.77 — sambil berada sekitar satu hingga dua magnitud lebih malap daripada kuasar terang klasik. Di bawahnya terletak wilayah yang hanya boleh dicapai tinjauan dalam dan sempit: lautan galaksi Lyman-break (kuning) dan segelintir lohong hitam berakresi yang sangat malap yang ditemui JWST (segi tiga hijau). Sumbangan Euclid muncul sebagai kumpulan tersendiri — kuasar agak terang, sangat awal, di kawasan luas — menjambatani sampel terang lama ke arah populasi malap yang buat masa ini hanya boleh dicapai instrumen bertujuan khusus.

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

Apa yang masih tidak pasti

Tiga peringatan datang bersama hasil ini, dan kertas sendiri menyatakan setiap satu.

Pertama, ini hasil awal, bukan ukuran akhir. Para penulis secara jelas menangguhkan analisis statistik menyeluruh bagi fungsi pemilihan dan populasi kuasar kepada penerbitan akan datang. Kekangan fungsi luminositi di sini ialah pandangan pertama, bukan kata akhir.

Kedua, tidak setiap “kuasar” malap dijamin benar-benar kuasar. Pada hujung malap, sesetengah

objek yang dikenal pasti sebagai kuasar mungkin sebenarnya galaksi awal kompak, khususnya jika ia tiada garis Lyman-alpha yang melebar kuat. Pasukan memberikan pemeriksaan awal bahawa objek konsisten sebagai sumber titik dan bukannya galaksi lanjutan, tetapi menyebutnya awal: spektroskopi inframerah dekat mendalam daripada JWST dan kemudahan serupa akan menentukan sifat sebenar objek paling malap.

Ketiga, objek itu sendiri malap dan hampir had kemampuan spektroskopi dari darat untuk mencirikannya. Menentukan jisim lohong hitam, persekitaran, dan tempatnya dalam cerita reionisasi memerlukan JWST, ALMA dan NOEMA. Euclid sangat baik menemukan objek ini; sebahagian besar kerja mengkajinya diserahkan kepada instrumen lain.

Mengapa ia penting

Nilai kerja ini bersifat demografi. Selama sedekad, satu bilion tahun pertama Alam Semesta hanya memberikan ahli astronomi segelintir kuasar untuk dibuat kesimpulan. Euclid, dalam satu hirisan awal tinjauannya, menambah cukup banyak untuk mengubahnya daripada senarai menjadi sampel — dan ia berada di landasan, konsisten dengan ramalan pra-pelancaran, untuk terus menambah.

Itu penting kerana soalan terbuka di sini ialah soalan populasi. Bagaimana lohong hitam membesar begitu besar begitu cepat? Sejauh mana bertompok dan neutral gas antara galaksi pada masa berlainan? Soalan itu tidak dijawab oleh satu objek spektakular; ia dijawab dengan mengira, membandingkan dan memetakan banyak objek. Apa yang telah ditunjukkan Euclid ialah keupayaan membina bancian itu — termasuk pada hujung malap, yang bersambung dengan populasi membingungkan lohong hitam berakresi yang sedang ditemui JWST pada zaman sama. Kertas ini tidak menyelesaikan bagaimana lohong hitam pertama terbentuk, dan tidak dengan sendirinya mengukur reionisasi. Ia membekalkan bahan mentah secara pukal yang diperlukan ukuran tersebut, dan menetapkan sempadan jelas untuk kempen susulan yang sudah berjalan.

Ringkasan utama

Menggunakan kira-kira 3000 darjah persegi pertama Euclid Wide Survey, Euclid Collaboration menemui 31 kuasar baharu antara anjakan merah 6.6 dan 7.8, dua belas daripadanya pada anjakan merah 7 atau lebih tinggi — lebih daripada menggandakan populasi diketahui di sana — termasuk satu pada anjakan merah 7.77 yang kini menjadi kuasar paling jauh dalam rekod. Kepentingannya ialah kuasa tinjauan yang terbukti untuk menemukan objek jarang dan kebanyakannya malap ini secara pukal, bukan rekod anjakan merah yang beransur-ansur. Hasil ini ialah keluaran data awal: analisis statistik penuh, sebahagian besar pengesahan spektroskopi dan pencirian terperinci objek individu masih akan datang.

Semakan tanpa gembar-gembur

Apa yang ditunjukkan oleh kertas ini: Bahawa Euclid Wide Survey, dalam ~1.5 tahun pertama merangkumi ~3000 darjah persegi, boleh menemukan kuasar anjakan merah tinggi dalam jumlah yang tidak mampu dicapai tinjauan terdahulu — 31 disahkan antara anjakan merah 6.6 dan 7.8, dua belas pada anjakan merah 7 atau lebih, kira-kira menggandakan jumlah diketahui di sana, dengan yang paling jauh pada anjakan merah ~7.77.

Apa yang munasabah tetapi bukan inti utama: Rekod anjakan merah itu sendiri. Ia tulen, tetapi hanya menggerakkan sempadan sekitar 0.13 dalam anjakan merah — daripada rekod sebelumnya berhampiran 7.64 ke 7.77, kira-kira lima belas juta tahun masa kosmik. Tajuk yang lebih tahan lama ialah sampel yang digandakan, terus membesar dan luar biasa malap, bukan satu pemegang rekod.

Apa yang tidak ditunjukkannya: Bagaimana lohong hitam supermasif pertama terbentuk, atau ukuran reionisasi. Kuasar ini ialah alat untuk soalan tersebut, bukan jawapannya. Ini juga bukan bancian populasi akhir — analisis statistik penuh secara eksplisit dibiarkan untuk kertas kemudian.

had utama bagi pembaca umum: Susulan spektroskopi belum lengkap, khususnya di selatan; hasil fungsi luminositi masih awal; dan sesetengah objek paling malap yang dilabel kuasar mungkin akhirnya ternyata galaksi awal sehingga spektroskopi kelas JWST mengesahkannya.

Berapa besar keyakinan yang patut ada pada pembaca umum? Tinggi bahawa Euclid telah mengubah apa yang boleh ditemui pada anjakan merah ini, dan tinggi pada pengesahan rakan sebaya bagi objek yang lebih terang. Lebih rendah, seperti dibingkai para penulis sendiri, pada nombor tepat populasi hujung malap dan sifat calon paling malap — itu hasil pertama, bukan perkara 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