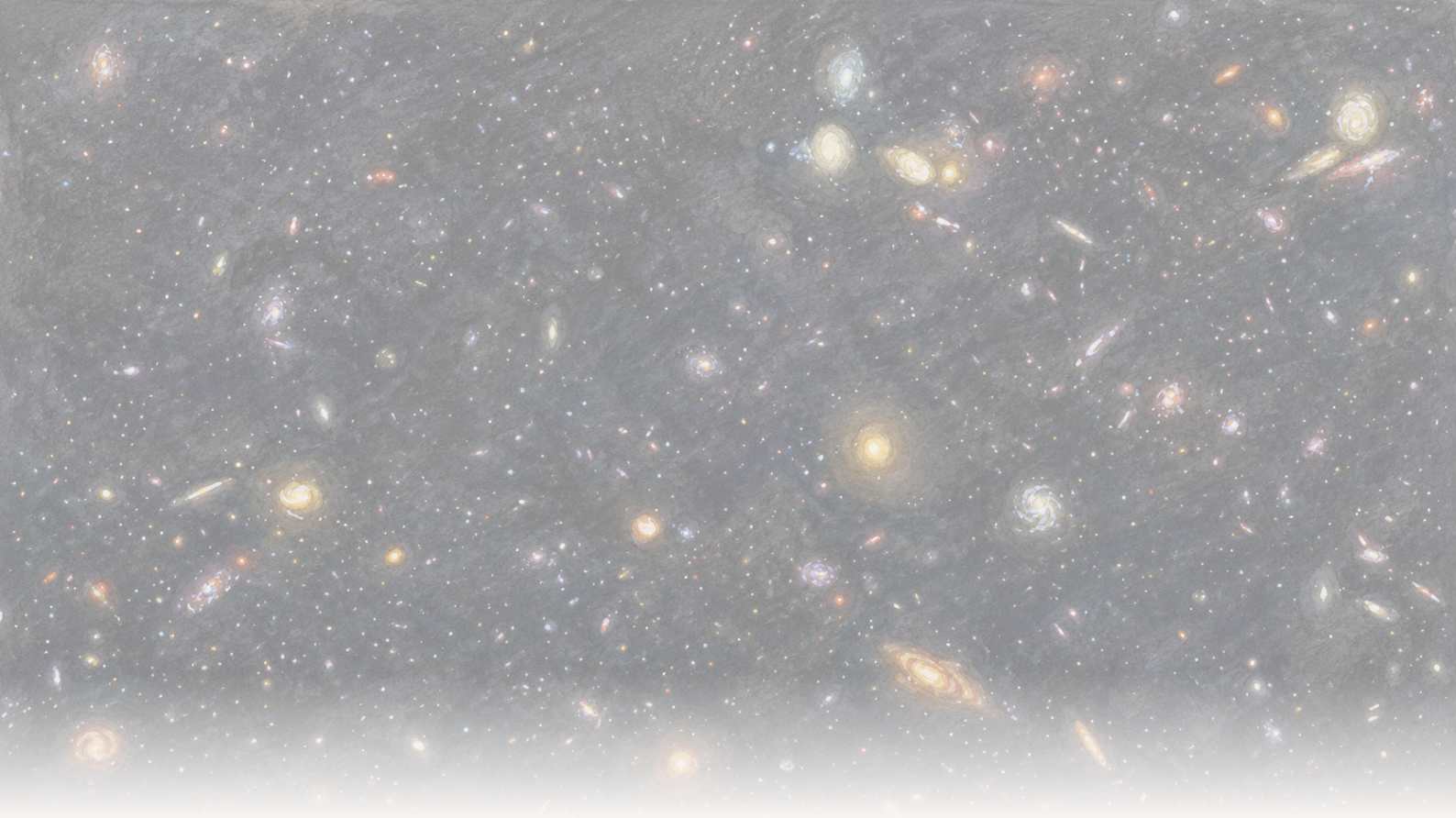


The Clean Paper

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

İonlaşdırıcı işığını sızdırarkən tutulan ən uzaq qalaktika

Astronomlar JWST və Hubble-dan istifadə edərək kosmik reionizasiya bitəndən təxminən 250 milyon il sonra tək bir qalaktikadan qaçan ionlaşdırıcı ultrabənövşəyi işığı tutublar — birbaşa görülən ən uzaq belə "sızma". Başlığa çıxacaq 50–100% escape fraction realdır, amma ölçülməyib, modellərlə rekonstruksiya olunub; daha sakit nəticə sızma artıq birbaşa görünməyəndə onu necə tapmaq üsulunun ilk yüksək-qırmızı-sürüşmə testidir.

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

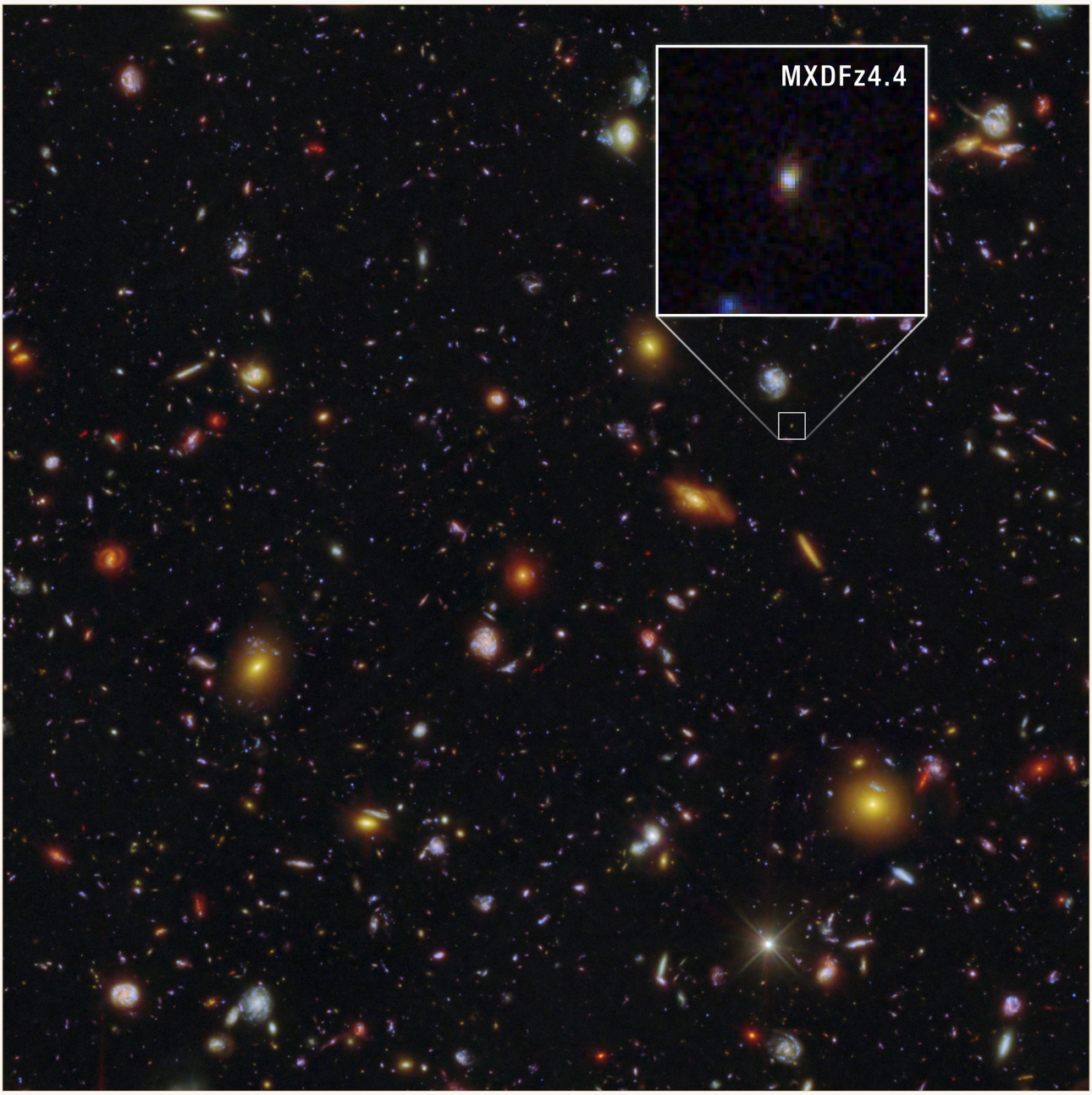
Paper: *MXDFz4.4: A LyC emitter 250 Myr after the epoch of reionization and a first test of Lyman-alpha morphology as a tracer of LyC escape at high redshift*, Ilias Goovaerts, Marc Rafelski, Alexander Beckett, Grecco Oyarzun, Annalisa Citro, Farhanul Hasan, Kalina V. Nedkova, Calum Hawcroft, Anton M. Koekemoer, Mitchell Revalski, Matthew J. Hayes, Claudia Scarlata, Ray A. Lucas, Norman A. Grogin, David V. Stark, Paolo Sun, Nor Pirzkal, and Louis-Gregory Strolger, The Astrophysical Journal (accepted, 2026) · DOI: 10.3847/1538-4357/ae75b0

Dumanı təmizləyən işıq

Kainat ilk bir neçə yüz milyon ilində qeyri-şəffaf idi. Kosmos neytral hidrogenlə — elektronları hələ atomlara bağlı hidrogenlə — dolu idi və neytral hidrogen *ionlaşdırıcı* ultrabənövşəyi şüalanmanı çox yaxşı udur: 912 ångström-dən aşağı (*Lyman həddi*) olan, hidrogen atomundan elektronu qoparmağa yetəcək enerjili qısa-dalğalı işığı. Bütün ultrabənövşəyi işıq bunu etmir — daha uzun dalğalı UV eyni cür udulmur və biz erkən qalaktikalardan onun çoxunu görürük — buna görə gənc kainatın tutduğu məhz bu ionlaşdırıcı işıq idi. Sonra təxminən növbəti bir milyard il ərzində nəsə kosmosu kifayət qədər ionlaşdırıcı fotonla doldurdu ki, elektronları yenidən qoparsın, hidrogeni ionlaşdırsın və işığın sərbəst yayılmasına imkan versin. Astronomlar buna reionizasiya epoxası deyirlər və aşkar namizədlər ilk qalaktikalardır: onların içindəki isti, qısaömürlü ulduzlar çoxlu ionlaşdırıcı ultrabənövşəyi işıq buraxır və kifayət qədəri qalaktikalararası fəzaya qaçsaydı, işi görə bilərdi.

Problem *qaçdı* sözündədir. Qalaktikanın yaratdığı ionlaşdırıcı işığın çoxu heç vaxt çıxmır — ulduzların ionlaşdırmağa çalışdığı qalaktikadaxili hidrogen tərəfindən udulur. Yalnız müəyyən hissə kosmosa sızır və həmin pay, *escape fraction*, bütün hekayədə müəyyənləşdirilməsi ən çətin rəqəmdir. Daha pisi, reionizasiyanın özündə sızan işığı tutmaq demək olar mümkün deyil: təmizləməyə kömək etdiyi qalaktikalararası duman onu bizə çatmazdan çox əvvəl udur. Buna görə sızmanı öyrənmək üçün astronomlar duman dağıldıqdan *dərhal sonra*, epoxaya kifayət qədər yaxın qalaktikalara baxmalıdırlar.

Ilias Goovaerts-in rəhbərlik etdiyi komanda indi bu sızmanı indiyə qədər görülən ən uzaq məsafələrdən birində tutub. Hubble və JWST-in dərin təsvirlərindən istifadə edərək MXDFz4.4 kataloq adlı tək, zəif qalaktikanın qaçan ionlaşdırıcı ultrabənövşəyi işığının Hubble filtrinin birində zəif işıq ləkəsi kimi göründüyünü bildirirlər. Qalaktika 4.442 qırmızı sürüşməsində, reionizasiya bitəndən təxminən 250 milyon il sonra yerləşir: indiyə qədər birbaşa aşkarlanmış ən uzaq “sızdırıcı”.



MXDFz4.4 (yuxarıdakı insetdə böyüdülüb) bu dərin Hubble və JWST sahəsində zəif ləkədir — ionlaşdırıcı ultrabənövşəyi işığını birbaşa sızdırarkən tutulan ən uzaq qalaktika, kosmik reionizasiya bitəndən təxminən 250 milyon il sonra görünür.

NASA, ESA, CSA, STScI, Ilias Goovaerts (STScI), Marc Rafelski (STScI, JHU), Anton Koekemoer (STScI); Image Processing: Alyssa Pagan (STScI) CC BY 4.0

Bu məqalədən ən çox yayılacaq rəqəm escape fraction-dır və yüksəkdir — qalaktikanın ionlaşdırıcı işığının təxminən yarısından hamısına qədər. Rəqəm realdır, amma burada “real” sözünün mənasına ehtiyatla yanaşmağa dəyər. Şəkildən birbaşa ölçülməyib; modellər zənciri vasitəsilə rekonstruksiya olunub və aralığın geniş olmasının dürüst səbəbi var. Daha faydalı hekayənin iki hissəsi var: tək tutulan sızmanın bizə nə deyib-deməməsi və daha sakit ikinci nəticə — bu qədər uzaqda ilk dəfə, birbaşa metod işləməyi dayandıracağı gün üçün sızmanı dolayı yolla tapmaq üsulunu birbaşa aşkarlama ilə yoxlamaq cəhdi.

“Escape fraction” nədir və niyə bu qədər sürüşkəndir

Ulduzlar — xüsusən ən böyük, isti və cavan ulduzlar — hidrogen atomlarından elektronları qoparmağa kifayət edəcək enerjili ultrabənövşəyi şüa buraxır. Astronomlar buna ionlaşdırıcı şüalanma, konkret dalğa uzunluqlarında isə *Lyman-continuum* işığı deyir. Bu, reionizasiyanın “valyutasıdır”: kifayət qədər belə foton sərbəst buraxılıb qalaktikalararası hidrogeni ionlaşmış saxlayanda kainat şəffaflaşdı.

Amma qalaktikanın özü də hidrogenlə doludur. Yaratdığı ionlaşdırıcı işığın böyük hissəsi qalaktikanı tərk etməzdən əvvəl udulur — öz qazını ionlaşdırmağa sərf olunur. *Escape fraction* qalaktikalararası fəzaya çıxan paydır; yalnız bu hissə daha geniş kainatı reionizasiya etməyə kömək edə bilər. Bütün sualın mərkəzidir və iki səbəbə görə ölçmək çətindir.

Birincisi, reionizasiya zamanı qalaktikalararası mühit hələ çoxlu neytral hidrogen saxlayır və aşkar etməyə çalışdığınız işığın məhz özünü udur — buna görə sızan işıq adətən bizə ümumiyyətlə çatmır. İkincisi, onun bir hissəsini *görə bildiyiniz* halda belə (epoxadan dərhal sonra, qeyri-adi dərəcədə açıq baxış xətti boyunca), aşkarlamanı escape fraction-a çevirmək üçün müşahidə etdiyiniz işığı qalaktikanın yaratdığı işığa bölməlisiniz — yaratdığını isə birbaşa görə bilmirsiniz. Onu qalaktikanın başqa işığından, çıxarılan ulduz-yaranma tarixindən və ulduzlar barədə fərziyyələrdən modelləşdirmək lazımdır.

Buna görə escape fraction geniş qeyri-müəyyənlik aralıqları ilə gəlir və qalaktikalararası udulma da modelləşdiriləndə eyni aşkarlama geniş cavab intervalını dəstəkləyə bilər. Rəqəm oxunan qiymət deyil, rekonstruksiyadır.

Müəlliflər nə etdilər

- VLT-də MUSE alətindən dərin spektroskopiya ilə qalaktikanın məsafəsini təsdiqlədilər. MUSE yüksək qırmızı sürüşmədə həmin xətt üçün tipik asimmetrik profilə malik tək emissiya xəttini — Lyman-alpha — tutdu və qırmızı sürüşməni z = 4.442 olaraq sabitlədi. Təsadüfi ön-plan üst-üstə düşməsinin ehtimalını 0.0076% hesabladılar.
- Qaçan ionlaşdırıcı (Lyman-continuum) işığı dərin Hubble F435W təsvirində aşkarladılar — bu filtr həmin qırmızı sürüşmədə yalnız “qaçmış” sayılan 912-ångström-dən aşağı işığı görür. Aşkarlama 5.2–5.3σ səviyyəsindədir (sigma siqnalın gözlənilən səs-küydən nə qədər uzaqda olduğunu ölçür; 5σ çox sərt statistik həddir, amma şərhin doğru olduğunun sübutu deyil — bələdçi); səs-küy olmadığını yoxlamaq üçün bir milyon boş səma sahəsinin axını ilə müqayisə etdilər.
- Bu tip iddianın klassik tələsini — “qaçan” işığın əslində təsadüfən ön planda duran aşağı-qırmızı-sürüşməli qalaktikadan gəlməsini — mənbənin həll olunmuş formasından və zəif qonşunun xüsusi de-blending analizindən istifadə etməklə istisna etdilər.
- Qalaktikanın bütün Hubble+JWST rənglərini uyğunlaşdıraraq ulduzlarını modelləşdirdilər (CIGALE kodu və bir neçə ulduz-populyasiya modeli ilə); nəticə bir neçə milyon il əvvəl yaxın ulduz-yaranma partlayışına işarə etdi.
- Qalaktikalararası mühitin yolda nə qədər ionlaşdırıcı işıq udacağını 10,000 simulyasiya

olunmuş baxış xətti üzrə modelləşdirdilər və bütün məlumatları birləşdirərək escape fraction çıxardılar.
- Bu qədər uzaqda ilk dəfə sızmanı dolayı müəyyənləşdirmək üsulunu — Lyman-alpha xəttinin forması və yayılmasını ("halo fraction") — birbaşa aşkarlama ilə yoxladılar.

Nə tapdılar

- İndiyə qədər ən uzaq birbaşa aşkarlanmış Lyman-continuum emitter-i, z = 4.442-də.
- Qaçan ionlaşdırıcı işığın özünün real aşkarlanması — inferensiya yox, təsvirin özündə 5.2–5.3σ siqnal.
- Fərziyyələrdən asılı olaraq 50–100% aralığında yüksək escape fraction — böyük, amma modeldən asılı. (Ayrıca *nisbi* qiymətləndirmə 100%-dən də yuxarı çıxır. Bu, onun necə təyin edilməsinin nəticəsidir — qaçan ionlaşdırıcı işığı əvvəlcədən toz düzəlişi etmədən qalaktikanın UV işığı ilə müqayisə edir — ulduzların yaratdığından çox işıq qaçması demək deyil.)
- Uyğunlaşdırılmış ulduz işığından, yaxın ulduz-yaranma partlayışının həm ionlaşdırıcı işığın istehsalını, həm də qaçmasını sürətləndirdiyinə dair sübut.
- Müəlliflərin sözləri ilə, Lyman-alpha xəttinin formasını yüksək qırmızı sürüşmədə sızma göstəricisi kimi istifadə etməyə "ehtiyatlı dəstək".

Bu nəyi sübut etmir

- "Kainatı reionizasiya edən qalaktikaları" **müəyyən etmir**. Bu, tək qalaktikadır və reionizasiya bitəndən təxminən 250 milyon il *sonra* yerləşir, epoxanın içində yox. Hadisənin şəkli deyil, ona tərəf bir addımdır.
- Escape fraction **ölçmə deyil**. Müşahidə olunan işıq qalaktikanın yaratdığı işığın *modelləşdirilmiş* qiymətinə bölünür, sonra qalaktikalararası udulmanın *modelləşdirilmiş* miqdarı üçün düzəliş edilir — müəlliflər də qəsdən əlverişli baxış xətti götürürlər, çünki sızan işığı bizə çatan qalaktika onsuz da orta qiymətdən daha şəffaf istiqamətdə olmalıdır. Geniş interval (50–100%, nisbi halda daha da yuxarı) bu model-asılılığın dürüst izidir.
- Yeni Lyman-alpha göstəricisini **təsdiqləmir**. Tək obyektlə "ehtiyatlı dəstək" ilk testdir, validasiya deyil.
- Öz-özlüyündə partlayışlı ulduz yaranmasının reionizasiyanı idarə etdiyini **həll etmir**. Bu, bir qalaktika və göstərici analizinə söykənən ağlabatan şərhdir, nümayiş etdirilmiş qanun deyil.

Sübut nə qədər güclüdür

- **Birbaşa olduğu yerdə güclüdür:** qırmızı sürüşmə (xarakterik formalı Lyman-alpha xətti, ön-plan çirklənməsinin 0.0076% ehtimalı) və qaçan işığın aşkarlanması (5.2–5.3σ, bir milyon boş aperturla yoxlanıb; yüksək-qırmızı-sürüşməli sızma iddialarını əvvəllər məhv edən ön-plan obyekt tələsi diqqətlə bağlanıb).
- **Modelləşdirildiyi yerdə daha zəifdir və bunu açıq deyir:** escape fraction-ın *qiyməti* (ulduz modeli və seçilmiş qalaktikalararası baxış xəttindən asılıdır), reionizasiya "əhəmiyyəti" (bir obyekt və şərh) və yeni göstərici (ilk, ehtiyatlı test).
- Məqalənin dürüstlüyü aralıqlarındadır. Tək rəqəm əvəzinə interval verir, göstərici dəstəyini "ehtiyatlı" adlandırır və hətta qalaktikalararası ötürülmə üçün öz qiymətləndirmələrindən birinə etibar etməməyə qərar verir. Bu, özünü şişirtməyən diqqətli məqalədir; hype riski tamamilə kənardadır.

Niyə vacibdir

Qaçan ionlaşdırıcı işığın birbaşa aşkarlanması reionizasiya epoxasına mümkün qədər yaxınlaşdırılıb — işığın hələ, güclə də olsa, keçə bildiyi sərhədə qədər. Bu, özlüyündə dəyərlidir. Amma daha sakit nəticə daha vacib ola bilər: reionizasiyanın *içinə* girdikdə birbaşa metod tam sıradan çıxır və hər şey yaxın, daha asan qalaktikalarda kalibrlənmiş dolayı göstəricilərə söykənir. Burada, birbaşa aşkarlama ilə hələ müqayisə edə bildiyiniz yerdə göstəricilərdən birini yoxlamaq, sonra birbaşa yoxlamanın mümkün olmadığı yerdə ona etibar etmək hüququnu qazanma üsuludur. MXDFz4.4-ün dəyəri "kainatı reionizasiya edən qalaktika tapdıq"dan daha çox "sızmanı oxumağı öyrənirik və qaranlıq üçün alətlərimizi yoxlamağa başlayırıq"dır.

Təmiz xülasə

Hubble və JWST-dən istifadə edən astronomlar z = 4.442 qırmızı sürüşməsində tək qalaktikadan qaçan ionlaşdırıcı ultrabənövşəyi işığı birbaşa aşkarlayıblar — indiyə qədər ən uzaq belə aşkarlama, kosmik reionizasiya bitəndən təxminən 250 milyon il sonra. Aşkarlamanın özü möhkəmdir. Tez sitat gətiriləcək 50–100% escape fraction ölçülməyib, qalaktikanın ulduzları və qəsdən əlverişli baxış xəttində qalaktikalararası udulma modelləri ilə rekonstruksiya olunub; geniş aralığın səbəbi budur. Aşkarlama ilə yanaşı komanda qaçan işığı dolayı tapmaq üsulunun — Lyman-alpha xəttinin formasının — ilk yüksək-qırmızı-sürüşmə testini aparıb və ona "ehtiyatlı dəstək" tapıb. Bu, diqqətli, tək-obyektli nəticədir: sızmanın real tutulması, ona bağlanmış dürüst qeyri-müəyyən rəqəm və sızma artıq ümumiyyətlə görünməyəndə lazım olacaq alətlərə ilk addım.

No-BS yoxlaması

Məqalə nəyi göstərir: z = 4.442-də qalaktikadan qaçan ionlaşdırıcı (Lyman-continuum) işığın birbaşa 5.2–5.3σ aşkarlanmasını — indiyə qədər ən yüksək qırmızı sürüşməli belə aşkarlama — ön-plan çirklənməsi tələsi diqqətlə istisna olunub.

Mümkündür, amma sübut olunmayıb: Qalaktikanın escape fraction-ının 50–100% olması. Aşkarlama realdır; fraksiya ulduz-populyasiya və qalaktikalararası-udulma modelləri (əlverişli baxış xətti boyunca) vasitəsilə rekonstruksiya edilir, buna görə belə geniş aralıqdadır. Həmçinin mümkün, amma sübut olunmamış: Lyman-alpha xəttinin formasının bu qədər uzaqda sızma göstəricisi kimi işləməsi — məqalə bir obyektlə "ehtiyatlı dəstək" verir.

Nəyi göstərmir: Bunun "kainatı reionizasiya edən" qalaktika olduğunu (epoxadan sonra yerləşir və tək obyektdir), yaxud partlayışlı ulduz yaranmasının reionizasiyanı idarə etdiyini (şərhdir, nümayiş deyil).

Əsas məhdudiyyətlər: Bir obyektlik nümunə; model seçimləri və qəsdən şəffaf baxış xəttindən asılı escape fraction; yeni göstəricinin ilk, ehtiyatlı testi; və qaçan ionlaşdırıcı işığın görünməz olduğu epoxaya bu qədər yaxın öyrənilməsinin ümumi çətinliyi.

Ümumi oxucu nə qədər əmin ola bilər? Qaçan işığın həqiqətən aşkarlanmasına və bunun indiyə qədər ən uzaq belə tutma olduğuna yüksək. Dəqiq escape fraction-a aşağı-orta — "50–100%"i ölçmə kimi yox, modelləşdirilmiş aralıq kimi qəbul edin. Yeni göstəriciyə orta: ümidverici ilk yoxlama, sabitləşmiş alət deyil.

Nəşrdən sonra yeniləmələr

- **Düzəliş · 2026-07-28**

  Məqalə müəllifi Ilias Goovaerts-in rəyindən sonra mətn artıq başlanğıcdan ümumi ultrabənövşəyi işıq yox, ionlaşdırıcı işıq anlayışını təqdim edir və yalnız qısa-dalğalı — 912-ångström Lyman həddindən aşağı — ultrabənövşəyi işığın ionlaşdırıcı olduğunu, daha uzun-dalğalı UV-nin isə qeyri-ionlaşdırıcı olduğunu və yüksək qırmızı sürüşməli qalaktikalardan müntəzəm müşahidə edildiyini açıqlaşdırır.

Mənbələr

Goovaerts et al., arXiv:2603.04517 (accepted in The Astrophysical Journal)
https://arxiv.org/abs/2603.04517

The Astrophysical Journal (2026), DOI 10.3847/1538-4357/ae75b0
https://doi.org/10.3847/1538-4357/ae75b0