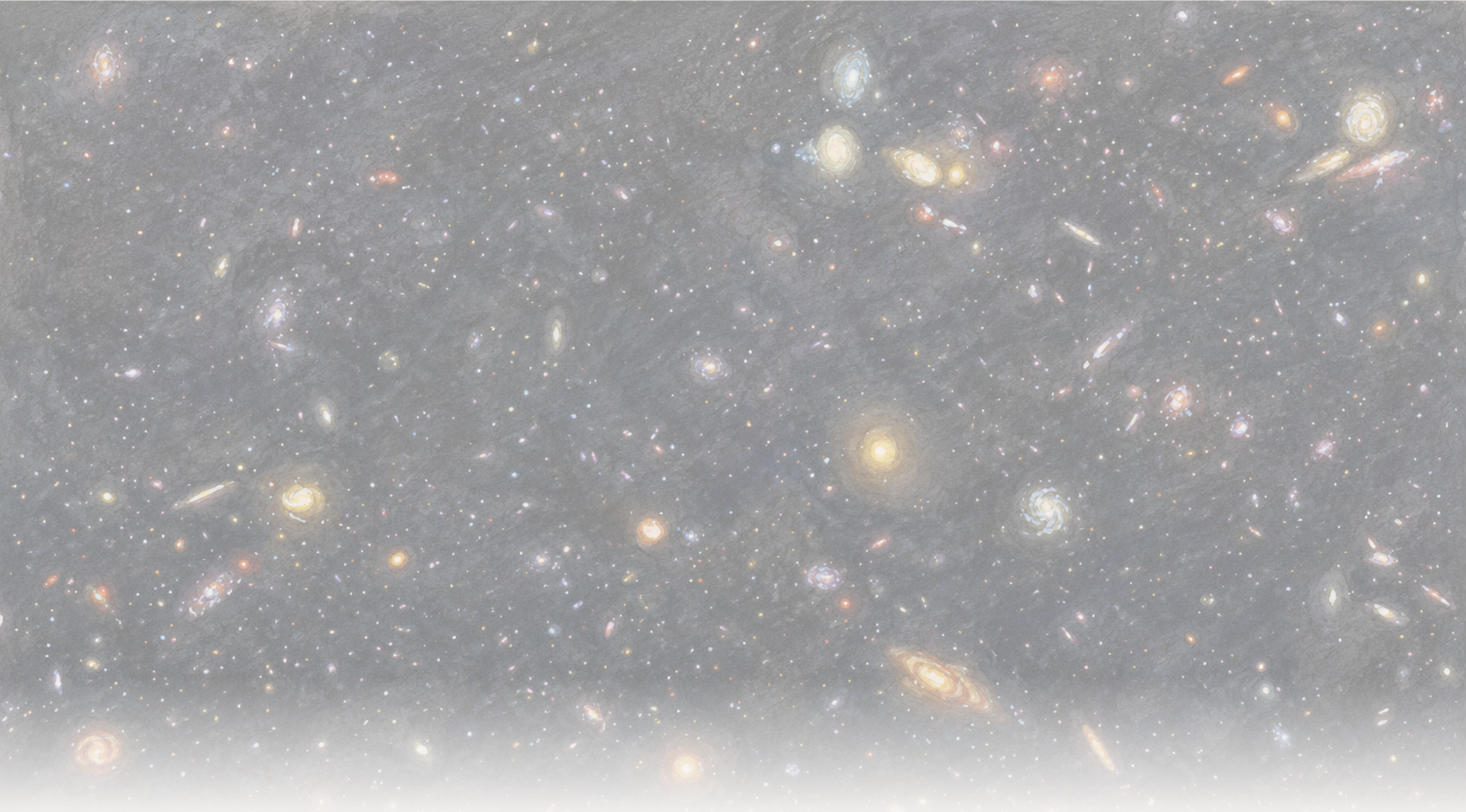


The
CLEAN PAPER

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

وہ روشنی جس نے کائناتی دھند صاف کی

Hubble اور *JWST* سے ماہرینِ فلکیات نے ریڈ شفٹ 442.4 پر ایک کہکشاں سے *escaping* آئنائزنگ *UV* براہِ راست شناخت کرنا کی—اب تک کی سب سے زیادہ *such distant* شناخت، دوبارہ آئنائزیشن کے ختم ہونے کے تقریباً 250 ملین سال بعد۔ شناخت *itsefl* ٹھوس ہے۔ *quoted widely* **50–100% اخراج حصہ براہِ راست پیمائش نہیں** بلکہ کہکشاں ستارے اور *intergalactic* جذب ماڈلز سے *reconstruction* ہے، جان بوجھ کر *sightline favourable* کے ساتھ؛ اسی لیے دائرہ *wide* ہے۔ *team* نے *Lyman-alpha* شکل کو *indirect* ٹریسر کے طور پر بلند ریڈ شفٹ پر پہلی بار براہِ راست شناخت سے موازنہ کرنا کیا اور "*cautious* تائید" پایا۔ یہ محتاط واحد-شے نتیجہ ہے: رساؤ واقعی پکڑی گئی، اس پر *attached* عدد *honestly* غیر یقینی ہے، اور آئندہ *era* کے لیے ٹریسر *calibration* کا پہلا مرحلہ ہے۔

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

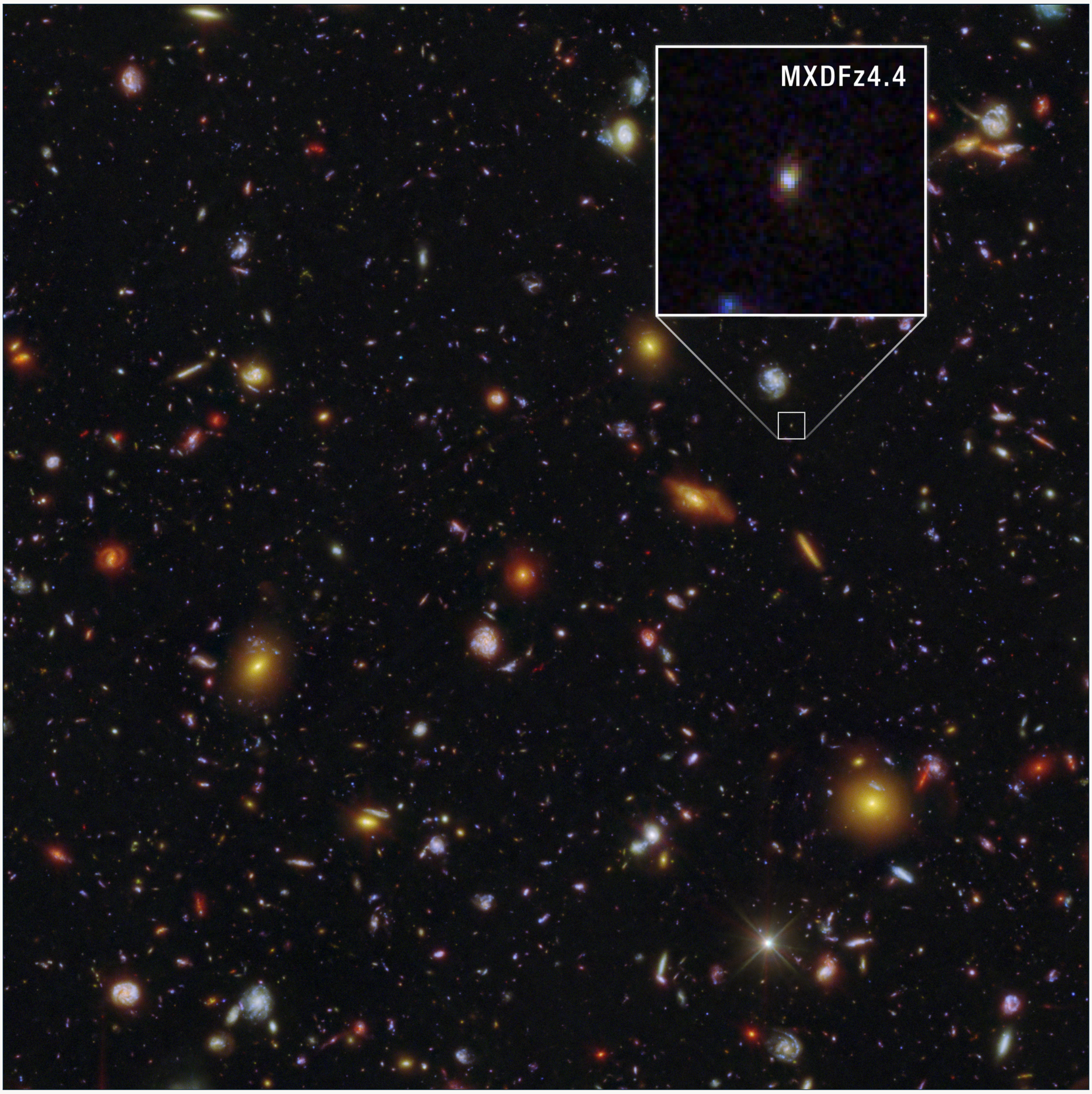
Paper: *MXDFz4.4: A LyC emitter 250 Myr after the epoch of reionization and a first test of Lyman-alpha morphology as a tracer of LyC escape at high redshfit*, Ilias Goovaerts, Marc Rafelski, Alexander Beckett, Grecco Oyarzun, Annalisa Citro, Farhanul Hasan, Kalina V. Nedkova, Calum Hawcroft, Anton M. 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: -3847/1538.10 ae75b0/4357

وہ روشنی جس نے کائناتی دھند صاف کی

کائنات کے پہلے کئی سو ملین سال تک خلا غیر شفاف تھی۔ ہر طرف غیر جانب دار ہائیڈروجن تھا—ایسے ایٹمز جن کے الیکٹرانز ابھی جڑے ہوئے تھے—اور غیر جانب دار ہائیڈروجن آئنائزنگ بالائے بنفشی کو بہت اچھی طرح جذب کرتا ہے: 912 ångström سے کم طولِ موج والی، یعنی *Lyman* حد سے نیچے کی روشنی، جس میں ہائیڈروجن ایٹم سے الیکٹران نکالنے کے لیے کافی توانائی ہوتی ہے۔ تمام بالائے بنفشی ایسا نہیں کرتی—زیادہ طویل-طولِ موج UV مختلف طرح behave کرتی ہے اور ہمیں ابتدائی کہکشائیں سے بہت ملتی ہے—لہٰذا young کائنات خاص طور پر آئنائزنگ روشنی کو trap کرتی تھی۔ پھر اگلے تقریباً ارب سال میں کسی ماخذ نے cosmos کو اتنی آئنائزنگ تابکاری سے بھر دیا کہ ہائیڈروجن سے الیکٹرانز دوبارہ strip ہو گئے، گیس ionized ہوئی اور روشنی آزادانہ travel کر سکی۔ ماہرینِ فلکیات اسے epoch of دوبارہ آئنائزیشن کہتے ہیں۔ واضح suspects پہلا کہکشائیں ہیں: ان کے hot مختصر-lived ستارے بہت آئنائزنگ UV بناتے ہیں، اور اگر کافی حصہ بین کہکشانی خلا میں اخراج ہوا ہو تو وہ یہ کام کر سکتے تھے۔

مشکل لفظ *escaped* ہے۔ کہکشاں کی زیادہ تر آئنائزنگ روشنی باہر نہیں نکلتی؛ وہ اسی کہکشاں کے ہائیڈروجن میں جذب کرنا ہو جاتی ہے۔ صرف کچھ حصہ رساؤ کرتی ہے، اور یہی اخراج حصہ پوری کہانی کا سب سے مشکل عدد ہے۔ دوبارہ آئنائزیشن کے دوران رساؤ براہِ راست پکڑنا اور بھی مشکل ہے کیونکہ بین کہکشانی غیر جانب دار ہائیڈروجن وہ روشنی ہم تک پہنچنے سے پہلے جذب کر لیتا ہے۔ اس لیے ماہرینِ فلکیات era کے فوراً بعد کی کہکشائیں دیکھتے ہیں، جہاں fog کافی حد تک اٹھ چکی ہو مگر نظام دوبارہ آئنائزیشن کے قریب ہوں۔

Ilias Goovaerts کی ٹیم نے رساؤ کو تقریباً اتنا دور پکڑا ہے جتنا آج تک ممکن ہوا۔ Hubble اور JWST گہرا امیجنگ سے انہوں نے ایک مدھم کہکشاں—MXDFz4-4—رپورٹ کی، جس کی فرار ہوتی آئنائزنگ UV ایک Hubble filter میں مدھم smudge کے طور پر دکھائی دیتی ہے۔ کہکشاں ریڈ شفٹ 4.442 پر ہے، دوبارہ آئنائزیشن ختم ہونے کے تقریباً 250 ملین سال بعد: ریکارڈ کا سب سے distant براہِ راست detected ”leaker“۔



(inset MXDFz4.4 میں enlarged) گہرا Hubble/JWST شعبہ میں مدھم smudge ہے—اب تک کی سب سے distant کہکشاں جس سے فرار ہوتی آئنائزنگ UV براہِ راست پکڑی گئی، کائناتی دوبارہ آئنائزیشن ختم ہونے کے تقریباً 250 ملین سال بعد۔

NASA, ESA, CSA, STScI, Ilias Goovaerts (STScI), Marc Rafelski (STScI, JHU), Anton Koekemoer (STScI); Image Processing: Alyssa Pagan (STScI)
CC BY 0.4

مقالہ سے سب سے زیادہ travel کرنے والا عدد اخراج حصہ ہے، اور وہ بلند ہے—کہکشاں کی آئنائزنگ روشنی کا تقریباً نصف سے سب۔ عدد "حقیقی" ہے مگر اس لفظ کو carefully سمجھنا چاھیے۔ تصویر سے براہِ راست پیمائش نہیں ہوا، ماڈلز کی زنجیر سے بازسازی کرنا ہوا، اور وسیع دائرہ دیانت دار وجہ سے ہے۔ زیادہ مفید کہانی دو حصوں کی ہے: واحد caught رساؤ ہمیں کیا بتا سکتی ہے/نہیں بتا سکتی، اور ایک quieter دوسرا نتیجہ—اس far back ایک indirect ٹریسر کو براہِ راست شناخت کے خلاف ٹیسٹ کرنے کی پہلی کوشش، اس حد کے قریب جہاں براہِ راست طریقہ جلد ناکام ہونا ہو جاتی ہے۔

"اخراج حصہ" کیا ہے، اور یہ اتنی slippery کیوں ہے

knock off الیکٹران سے ہائیڈروجن جو ہیں بناتے UV ایسی—hottest، youngest بڑی، سے سب پر طور ستارے—خاص دوبارہ ہیں۔ کہتے روشنی *Lyman-continuum* پر موج طولِ متعلقہ اور تابکاری، آئنائزنگ اسے فلکیات ماہرینِ ہے۔ سکتی کر ہائیڈروجن کہکشانی بین کر ہو آزاد فوٹونز کافی جب ہوا transparent تب کائنات ہیں: فوٹونز یہی currency کی آئنائزیشن لگے۔ رکھنے ionized کو

مگر کہکشاں کے اندر بھی ہائیڈروجن ہوتا ہے۔ بہت سی آئنائزنگ روشنی کہکشاں چھوڑنے سے پہلے جذب کرنا ہو جاتی ہے—اپنے گیس کو ionize کرنے میں "خرچ"۔ اخراج حصہ وہ حصہ ہے جو بین کہکشانی خلا میں نکلتی ہے، جہاں wider کائنات کو reionize کرنے میں حصہ لے سکتی ہے۔ پیمائش مشکل دو وجوہ سے ہے۔

پہلی، دوبارہ آئنائزیشن کے دوران IGM غیر جانب دار ہائیڈروجن سے بھرپور ہوتا ہے، جو عین اسی روشنی کو جذب کرتا ہے جسے شناخت کرنا ہے۔ دوسری، جب کچھ leaked روشنی نظر بھی آئے (era کے بعد، unusually واضح لائن sight of پر)، اخراج حصہ نکالنے کے لیے مشاہدہ شدہ روشنی کو کہکشاں کی produced آئنائزنگ روشنی سے divide کرنا ہوتا ہے—اور production براہِ راست بھی نظر آنے والا نہیں۔ اسے کہکشاں کی دوسری روشنی، inferred ستارہ-تشکیل تاریخ اور stellar مفروضے سے ماڈل کرنا پڑتا ہے۔

اسی لیے اخراج fractions کے غلطی سلاخیں وسیع ہوتے ہیں۔ بین کہکشانی جذب بھی ماڈل کرنی پڑے تو ایک شناخت وسیع جوابات تائید کر سکتی ہے۔ عدد ازسرِنو تعمیر ہے، براہِ راست مطالعہ نہیں۔

مصنفین نے کیا کیا

- VLT کے MUSE آلہ کی گہرا طیف نگاری سے فاصلہ تصدیق کی: ایک الفا-Lyman اخراج لائن، زیادہ ریڈ شفٹ والا لائن کی characteristic غیر متناسب خاکہ کے ساتھ، ریڈ شفٹ z = 442.4 درست کرتی ہے۔ امکان foreground alignment کی odds 0076%.0 تخمینہ کی گئیں۔
- Hubble F435W گہرا تصویر میں فرار ہوتی Lyman-continuum روشنی شناخت کی—اس ریڈ شفٹ پر filter صرف سے نیچے 912-ångström روشنی دیکھتا ہے جو "escaped" گنتی ہوتی ہے۔ شناخت 2.5–3.5σ ہے؛ ملین empty آسمان apertures کے فلوکس سے جانچ-cross کیا گیا تاکہ شور نہ ہو (رہنما)۔
- روایتی trap قاعدہ out کیا: apparent فرار ہوتی روشنی دراصل امکان foreground کم-z کہکشاں ہو۔ واضح ہوئی شکل اور مدھم neighbour کی custom de-blending استعمال ہوئی۔
- Hubble+JWST colours کو CIGALE اور متعدد آبادی-stellar ماڈلز سے مطابقت کر کے ستارے ماڈل کیے؛ recent ستارہ-تشکیل burst، چند ملین سال پرانا، indicate ہوا۔
- 10,000 سیمولیشن شدہ sightlines پر ماڈل کیا کہ IGM نے راستہ میں کتنی آئنائزنگ روشنی جذب کرنا کی، پھر اخراج حصہ اخذ کیا۔
- پہلی بار اس ریڈ شفٹ کے قریب بالواسطہ اخراج کے ایک نشان—Lyman-الفا لائن کی شکل اور پھیلاؤ، یعنی "halo حصہ"—کو براہِ راست شناخت کے مقابل جانچا گیا۔

انہوں نے کیا پایا

- آج تک کا سب سے زیادہ distant براہِ راست detected Lyman-continuum emitter، z = 442.4۔
- فرار ہوتی آئنائزنگ روشنی خود کی **براہِ راست شناخت**—صرف استنباط نہیں—تصویر اشارہ 2.5–3.5σ۔
- بلند اخراج حصہ **50–100% دائرہ**، مفروضے پر انحصار کرنا—بڑا مگر ماڈل-dependent۔ الگ نسبتی تخمینہ >100% بھی جاتی

ہے، یہ artfiact definition ہے (فرار ہوتی آئنائزنگ روشنی کو UV سے موازنہ کرتی ہے بغیر dust تصحیح)، ستارے سے زیادہ روشنی اخراج ہونے کا دعویٰ نہیں۔
- مطابق کیا starlight شواہد کے recent starburst آئنائزنگ production اور اخراج دونوں ڈرائیو کر رہی ہے۔
- مصنفین کے الفاظ میں Lyman-الفا شکل کو بلند-z اخراج ٹریسر کے طور پر استعمال کرنے کے لیے **"cautious" تائید**۔

یہ کیا ثابت نہیں کرتا

- یہ "وہ کہکشائیں جنہوں نے کائنات reionize کیا" شناخت کرنا نہیں کرتا۔ یہ ایک کہکشاں ہے، دوبارہ آئنائزیشن ختم ہونے کے **250 ملین سال بعد**، era کے اندر نہیں۔ stepping-stone ہے، واقعہ کی تصویر نہیں۔
- اخراج حصہ **پیمائش نہیں**۔ مشاہدہ شدہ روشنی کو *modelled* داخلی production سے divide، پھر *modelled* بین کہکشانی جذب تصحیح۔ مصنفین جان بوجھ کر favourable لائن of sight adopt کرتے ہیں کیونکہ leaked روشنی جو ہم تک پہنچ رہی ہے فطری طور پر زیادہ واضح-than-اوسط سمت سے ہوگی۔ وسیع 50–100% دائرہ ماڈل باہمی انحصار کی دیانت دار signature ہے۔
- یہ نیا Lyman-الفا ٹریسر validate نہیں کرتا۔ ایک شے سے "cautious تائید" پہلا ٹیسٹ ہے، تصدیق نہیں۔
- bursty ستارہ تشکیل نے دوبارہ آئنائزیشن ڈرائیو کی، یہ law demonstrate نہیں ہوتی۔ ایک کہکشاں + ٹریسر تشریح ہے۔

شواہد کتنے مضبوط ہیں

- **مضبوط جہاں براہِ راست ہے:** ریڈ شفٹ (نمایاں Lyman-الفا خاکہ)، foreground آلودگی امکان 0.0076%) اور فرار ہوتی روشنی شناخت (2.5–3.5σ، ملین empty apertures، جانچ-cross foreground interloper trap carefully closed)۔
- **کمزور، اور openly so، جہاں modelled ہے:** اخراج حصہ قدر، دوبارہ آئنائزیشن اہمیت، نیا ٹریسر۔
- مقالہ دیانت ranges میں ہے۔ spans رپورٹ کیے، ٹریسر تائید "cautious" کہا، اور اپنی بین کہکشانی-منتقلی تخمینے میں سے ایک پر اعتماد نہ کرنے کا فیصلہ بھی کیا۔ محتاط مقالہ ہے، hype خطرہ باہر ہے۔

یہ کیوں اہم ہے

فرار ہوتی آئنائزنگ روشنی کی براہِ راست شناخت اب دوبارہ آئنائزیشن کے دور کے اتنے قریب پہنچ چکی ہے جتنا موجود روشنی بمشکل اجازت دیتی ہے۔ یہ خود اہم ہے۔ مگر نسبتاً خاموش نتیجہ شاید زیادہ مفید ہو: خود دوبارہ آئنائزیشن کے دور کے اندر براہِ راست طریقہ ناکام ہو جاتا ہے، اس لیے وہاں بالواسطہ نشانات پر انحصار کرنا پڑتا ہے۔

صاف خلاصہ

Hubble اور JWST سے ماہرینِ فلکیات نے ریڈ شفٹ 4.442 پر ایک کہکشاں سے فرار ہوتی آئنائزنگ UV براہِ راست شناخت کی—اب تک کی سب سے زیادہ such distant شناخت، دوبارہ آئنائزیشن کے ختم ہونے کے تقریباً 250 ملین سال بعد۔ شناخت

itsefl ٹھوس ہے۔ widely quoted **50–100% اخراج حصہ براہِ راست پیمائش نہیں** بلکہ کہکشاں ستارے اور بین کہکشانی جذب ماڈلز سے ازسرِنو تعمیر ہے، جان بوجھ کر favourable sightline کے ساتھ؛ اسی لیے دائرہ وسیع ہے۔ ٹیم نے Lyman-الفا شکل کو indirect ٹریسر کے طور پر بلند ریڈ شفٹ پر پہلی بار براہِ راست شناخت سے موازنہ کیا اور "cautious تائید" پایا۔ یہ محتاط واحد-شے نتیجہ ہے: رساؤ واقعی پکڑی گئی، اس پر جڑے ہوئے عدد honestly غیر یقینی ہے، اور آئندہ era کے لیے ٹریسر calibration کا پہلا مرحلہ ہے۔

بلا مبالغہ جانچ

مقالے کیا دکھاتا ہے: z = 4.442 کہکشاں سے فرار ہوتی Lyman-continuum روشنی کی براہِ راست 2.5–3.5σ شناخت، سب سے زیادہ-ریڈ شفٹ to تاریخ؛ foreground آلودگی carefully ruled out۔

کیا قرینِ قیاس مگر ثابت شدہ نہیں: اخراج حصہ 50–100%—شناخت حقیقی، حصہ stellar/IGM ماڈلز سے بازسازی کرنا؛ Lyman-الفا شکل reliable اخراج ٹریسر ہو سکتی ہے—ایک شے سے cautious تائید۔

کیا نہیں دکھاتا: یہ کہکشاں کائنات reionize کرنے والی کہکشاں ہے؛ bursty ستارہ تشکیل نے دوبارہ آئنائزیشن ڈرائیو کی law۔

حدود: نمونہ ایک؛ ماڈل-dependent حصہ + favourable sightline؛ ٹریسر پہلا ٹیسٹ؛ era کے قریب براہِ راست آئنائزنگ روشنی کی extreme مشاہداتی dffiiculty۔

اعتماد: فرار ہوتی روشنی واقعی شناخت ہوئی—بلند۔ عین 50–100% حصہ—کم-to-درمیانہ، modelled دائرہ سمجھیں۔ نیا ٹریسر—درمیانہ at بہترین، امید افزا پہلا جانچ۔

اشاعت کے بعد کی تازہ کاریاں

- **تصحیح · 28-07-2026**

Paper کے author Ilias Goovaerts کے feedback کے بعد article اب ابتدا ہی سے ionizing light introduce کرتا ہے، ultraviolet کو عمومی طور پر نہیں۔ واضح کیا گیا کہ صرف short-wavelength ultraviolet — 912-ångström Lyman limit سے نیچے — ionizing ہے، جبکہ longer-wavelength ultraviolet non-ionizing ہے اور high-redshfit galaxies سے routinely observe ہوتی ہے۔

ماخذ

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