

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 ماہرین فلکیات نے ریڈ شفٹ 442.4 پر ایک کہکشاں سے *escaping* آئنارنگ UV براہ راست شناخت کرنا کی۔ اب تک کی سب سے زیادہ *such distant* شناخت، دوبارہ آئنارنگ کے ختم ہونے کے تقریباً 250 ملین سال بعد۔ شناخت *itsefl* ٹھوس ہے۔ *quoted widely* 50%-100% اخراج حصہ براہ 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 براہ 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

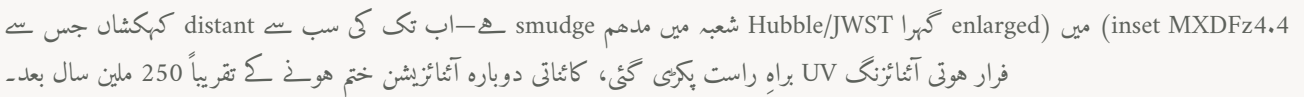
Paper: *MXDFz4.4: A LyC emitter 250 Myr after the epoch of reionization and a first test of Lyman-alpha morphology as a tracer of LyC escape at high redshift*, Ilias Goovaerts, Marc Rafelski, Alexander Beckett, Grecco Oyarzun, Annalisa Citro, Farhanul Hasan, Kalina V. Nedkova, Calum Hawcroft, Anton M. 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: -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۔ اسے ایٹم جن کے الیکٹرانز ابھی جڑے ہوئے تھے۔ اور غیر جانب دار ہائیڈروجن آئنائزنگ بالائے بنفشی کو بہت اچھی طرح جذب کرتا ہے: $\text{\AA}912$ سے کم طول 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-طول موج UV مختلف طرح behave کرتی ہے اور ہمیں ابتدائی کہکشائیں سے بہت ملتی ہے۔ لہذا 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 of epoch 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 کہکشائی 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 براہ راست پکڑنا اور بھی مشکل ہے کیونکہ بین کہکشائی 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۔

Goovaerts Ilias کی ٹیم نے رساؤ کو تقریباً اتنا دور پکڑا ہے جتنا آج تک ممکن ہوا۔ Hubble اور JWST گہرا امیجنگ سے انہوں نے ایک مدہم کہکشاں 4.0MXDFz4—رپورٹ کی، جس کی فرار ہوتی آئنائزنگ UV ایک Hubble filter میں مدہم smudge کے طور پر دکھائی دیتی ہے۔ کہکشاں ریڈ شفٹ 442.4 پر ہے، دوبارہ آئنائزیشن ختم ہونے کے تقریباً 250 ملین سال بعد: ریکارڈ کا سب سے distant براہ راست detected —"leaker"



مقالہ سے سب سے زیادہ travel کرنے والا عدد اخراج حصہ ہے، اور وہ بلند ہے۔ کہکشاں کی آئنائرنگ روشنی کا تقریباً نصف سے سب۔ عدد “حقیقی” ہے مگر اس لفظ کو carefully سمجھنا چاہیے۔ تصویر سے براہ 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 back far ایک indirect ٹریسر کو براہ راست شناخت کے خلاف ٹیسٹ کرنے کی پہلی کوشش، اس حد کے قریب جہاں براہ 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 بنائے UV ایسی—hottest، youngest، سے سب پر طور ستارے—خاص دوبارہ ہیں۔ کہتے روشنی Lyman-continuum پر موج طول متعلقہ اور تابکاری، آئنائزنگ اسے فلکیات ماہرین ہے۔ سکتی کر ہائیڈروجن کہکشاں بین کر ہو آزاد فوٹونز کافی جب ہو 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 کہکشاں 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 براہ 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 کہکشاں جذب بھی ماڈل کرنی پڑے تو ایک شناخت وسیع جوابات تائید کر سکتی ہے۔ عدد ازسرنو تعمیر ہے، براہ راست مطالعہ نہیں۔

مصنفین نے کیا کیا

- VLT کے MUSE آلہ کی گہرا طیف نگاری سے فاصلہ تصدیق کی: ایک الف Lyman-continuum اخراج لائن، زیادہ ریڈ شفٹ والا لائن کی characteristic غیر متناسب خاکہ کے ساتھ، ریڈ شفٹ $z = 442.4$ درست کرتی ہے۔ امکان alignment foreground کی odds 0076%0 تخمینہ کی گئیں۔
- F435W Hubble 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 $2.5-3.5\sigma$ ہے؛ ملین empty آسمان apertures کے فلوکس سے جانچ cross کیا گیا تا کہ شور نہ ہو (رہنما)۔
- روایتی trap قاعدہ out کیا: apparent فرار ہوتی روشنی دراصل امکان foreground کم-z کہکشاں ہو۔ واضح ہوئی شکل اور مدہم neighbour کی de-blending custom استعمال ہوئی۔
- colours Hubble+JWST 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-الف لائن کی شکل اور پھیلاؤ، یعنی “halo” حصہ—کو براہ راست شناخت کے مقابل جانچا گیا۔

انہوں نے کیا پایا

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

ہے، یہ artifact 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 کہ starburst recent آئنائزنگ production اور اخراج دونوں ڈرائیو کر رہی ہے۔
- مصنفین کے الفاظ میں الفا-Lyman 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 کہکشائی جذب تصحیح۔ مصنفین جان بوجھ کر favourable لائن adopt sight of 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 الفا-Lyman ٹریسر validate نہیں کرتا۔ ایک شے سے cautious “تائید” پہلا ٹیسٹ ہے، تصدیق نہیں۔
- bursty ستارہ تشکیل نے دوبارہ آئنائزیشن ڈرائیو کی، یہ demonstrate law نہیں ہوتی۔ ایک کہکشاں + ٹریسر تشریح ہے۔

شواہد کتنے مضبوط ہیں

- مضبوط جہاں براہ راست ہے: ریڈ شفٹ (نمایاں الفا-Lyman خاکہ، foreground آلودگی امکان 0.076%) اور فرار ہوتی روشنی شناخت (2.5-3.5، ملین apertures empty، جانچ-carefully trap interloper foreground cross - closed)۔
- کمزور، اور so، openly 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 کہکشائی-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 براہ 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 براہ راست طریقہ ناکام ہو جاتا ہے، اس لیے وہاں بالواسطہ نشانات پر انحصار کرنا پڑتا ہے۔

صاف خلاصہ

Hubble اور JWST سے ماہرین فلکیات نے ریڈ شفٹ 442.4 پر ایک کہکشاں سے فرار ہوتی آئنائزنگ UV براہ راست شناخت کی۔ اب تک کی سب سے زیادہ such distant شناخت، دوبارہ آئنائزیشن کے ختم ہونے کے تقریباً 250 ملین سال بعد۔ شناخت

itself ٹھوس ہے۔ 50%-100% quoted widely اخراج حصہ براہ راست پیمائش نہیں بلکہ کہکشاں ستارے اور بین کہکشان جذب ماڈلز سے ازسرنو تعمیر ہے، جان بوجھ کر sightline favourable کے ساتھ؛ اسی لیے دائرہ وسیع ہے۔ ٹیم نے الف-lyman شکل کو indirect ٹریسر کے طور پر بلند ریڈ شفٹ پر پہلی بار براہ 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 کا دکھانا ہے: $z = 442.4$ کہکشاں سے فرار ہوتی Lyman-continuum روشنی کی براہ راست $2.5-3.5\sigma$ شناخت، سب سے زیادہ ریڈ شفٹ to تاریخ؛ foreground آلودگی ruled carefully۔

کیا قرین قیاس مگر ثابت شدہ نہیں: اخراج حصہ 50%-100%—شناخت حقیقی، حصہ stellar/IGM ماڈلز سے بازسازی کرنا؛ Lyman-alfa 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 براہ راست آئنائزنگ روشنی کی extreme مشاہداتی difficulty۔

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

ماخذ

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

ae75b0/4357-3847/1538.10 DOI ,(2026) Journal Astrophysical The
https://doi.org/10.3847/1538-4357/ae75b0