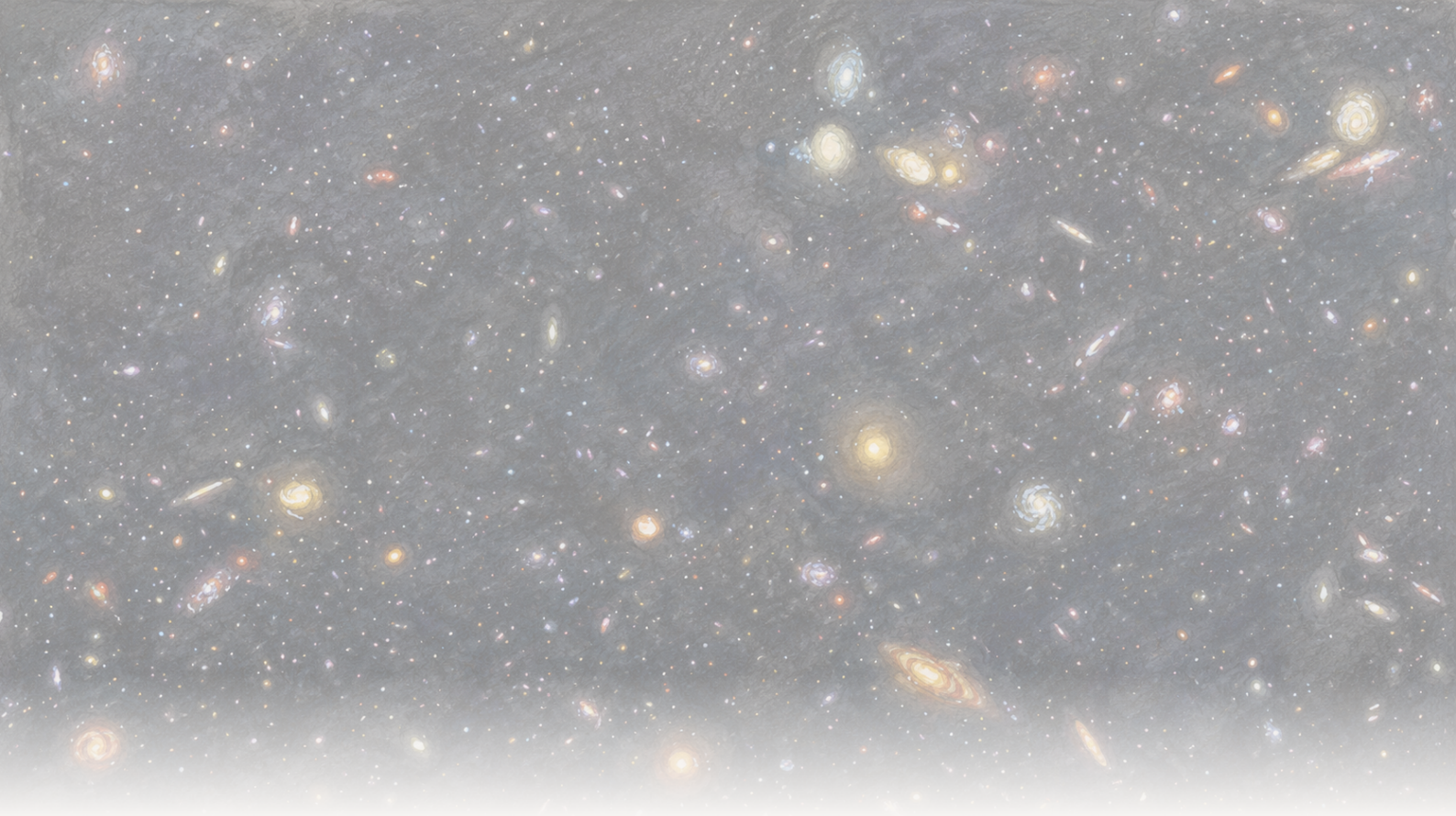




The CLEAN PAPER

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

Galaxy tó jìn jù lọ tí a tí mu nígbà tí ionizing light rẹ ń leak

Astronomers lo JWST àti Hubble láti mu escaping ionizing ultraviolet láti galaxy kan tó 250 million years lẹyìn cosmic reionization — ‘leak’ tó jìn jù lọ tí a tí rí taara. Headline escape fraction 50–100% jẹ gidi gégé bí reconstruction, sùgbón a gba a láti models, kì í ẹ measurement; result tó daké sí i nì first high-redshift test tí bí a ẹ lẹ spot leak nígbà tí direct light kò ẹé rí mọ.

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

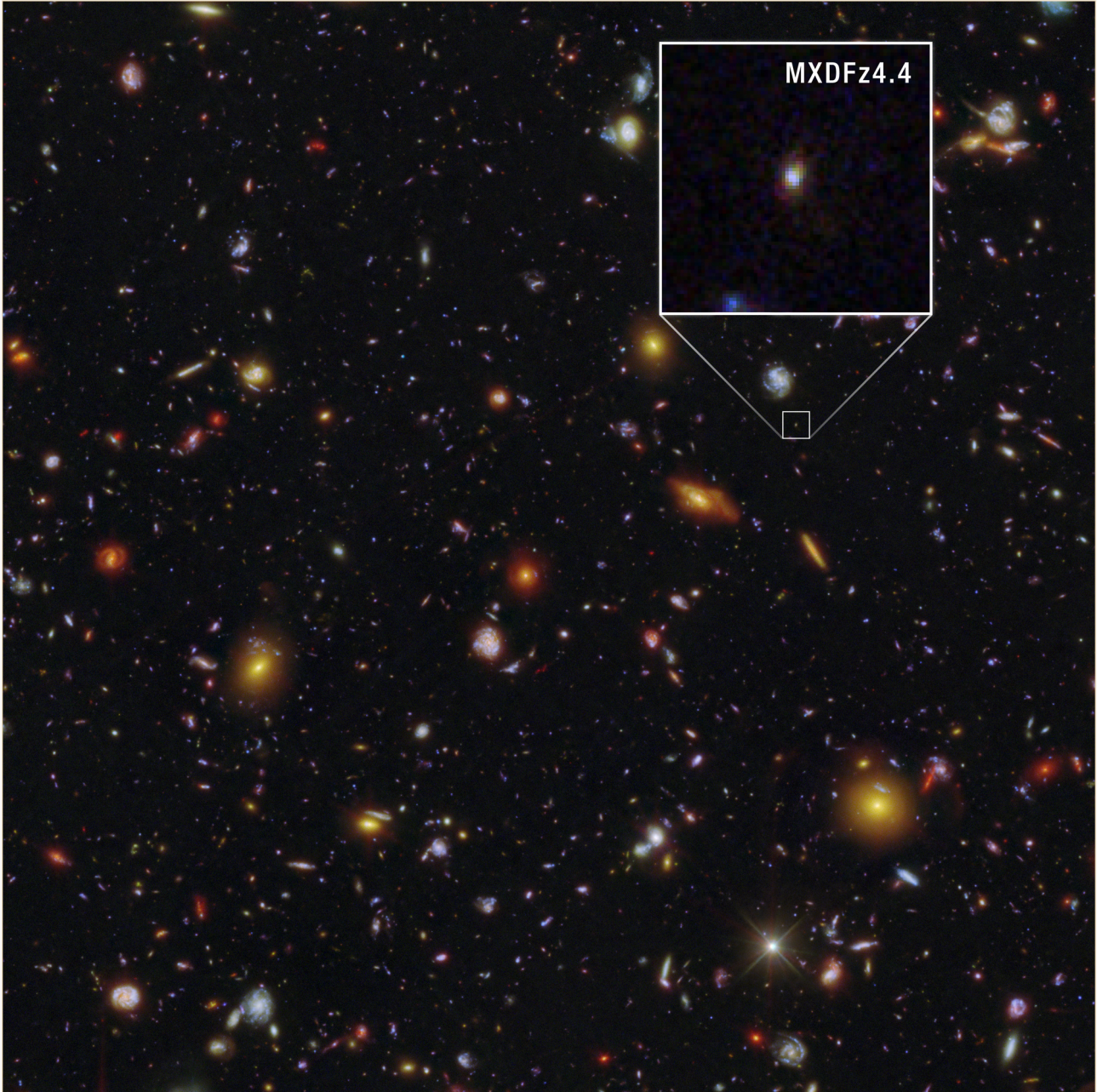
Paper: MXDFz4.4: A LyC emitter 250 Myr after the epoch of reionization and a first test of Lyman-alpha morphology as a tracer of LyC escape at high redshift, Ilias Goovaerts, Marc Rafelski, Alexander Beckett, Grecco Oyarzun, Annalisa Citro, Farhanul Hasan, Kalina V. Nedkova, Calum Hawcroft, Anton M.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

Ìmólẹ̀ tó mú ìkùukùu kúrò

Ní ọgórùn-ún million years àkókò rẹ̀, àgbáyé jẹ̀ opaque. Space kún fún neutral hydrogen — atom tí electron wọ̀n sì so mó wọ̀n — neutral hydrogen sì dára gan-an ní absorbing *ionizing* ultraviolet: short-wavelength light tó wà ní isalẹ̀ 912 ångström (*Lyman ààlà*), tó ní agbára tó lágbára tó láti lé electron kúrò lórí hydrogen atom. Kì í ẹ̀ gbogbo ultraviolet ló ní ẹ̀yí — longer-wavelength ultraviolet kì í absorb ní ọ̀nà kan náà, a sì rí ọ̀pọ̀ rẹ̀ láti early ìṣùpọ̀ ìràwọ̀ — nítorí náà ionizing light yíi pátó ni young àgbáyé ní dí mó. Lẹ́yìn náà, ní ọ̀pọ̀ billion years tó tè lé e, nńkan kan kún cosmos pẹ̀lú ionizing photons tó tó láti yọ electron wọ̀nyí, ionize hydrogen, kí light sì lè rìn lófẹ́ẹ̀. Astronomers pe akoko yíi ní epoch of reionization, àwọn suspect tó hàn gbangba sì ni first ìṣùpọ̀ ìràwọ̀: hot, short-lived ìràwọ̀ inú wọ̀n ní tú ionizing ultraviolet púpọ̀ jáde, tí iye tó tó bá escape sí intergalactic space, wọ̀n lè ti ẹ̀ ẹ̀ náà.

Ìṣòro wà nínú ọ̀rọ̀ *escaped*. Ọ̀pọ̀ ionizing light ìṣùpọ̀ ìràwọ̀ kan kò jáde rára — hydrogen kan náà inú ìṣùpọ̀ ìràwọ̀ ni ó ní absorb rẹ̀. Fraction kan soṣo ni ní leak sí space; fraction yẹn, *escape fraction*, ni nọmbà tó ṣòro jù lọ láti pin down nínú gbogbo ìtàn náà. Ó tún burú sí i pé nígbà reionization fúnra rẹ̀, leaked light fẹ̀rẹ̀ má ẹ̀é rí: intergalactic fog tí ó ní ràn lówọ̀ láti clear ni ó absorb rẹ̀ ẹ̀áájú kí ó tó dé ọ̀dọ̀ wa. Nítorí náà, láti iwádíí leak, astronomers gbọ̀dọ̀ wo ìṣùpọ̀ ìràwọ̀ tí ó wà díẹ̀ lẹ́yìn tí fog náà ti kúrò, tó sún mó era náà tó láti dúró fún un.

ẹgbẹ̀ kan tí Ilias Goovaerts ẹ̀áájú ti rí leak yíi jìn sẹ́yìn tó fẹ̀rẹ̀ jẹ̀ àkọ̀sílẹ̀. Pẹ̀lú deep imaging láti Hubble àti JWST, wọ̀n rọ̀yìn faint ìṣùpọ̀ ìràwọ̀ kan — MXDFz4.4 — tí escaping ionizing ultraviolet rẹ̀ hàn gẹ́gẹ̀ bí smudge of light nínú Hubble filter kan. Galaxy náà wà ní redshift 4.442, tó 250 million years lẹ́yìn tí reionization parí: directly-detected “leaker” tó jìn jù lọ tí a ti mó.



MXDFz4.4 (tí a enlarge nínú inset) jẹ faint smudge nínú deep Hubble àti JWST field yíi — ìṣùpò ìràwò tò jìn jù lọ tí a tí mu taara nígbà tí ionizing ultraviolet rè ń leak, tò 250 million years lẹyìn tí cosmic reionization parí.

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

Nọmbà tí yòò rìn káàkiri láti ìwé ìwádíí yíi ni escape fraction, ó sì ga — láàárín half àti gbogbo ionizing light ìṣùpò ìràwò náà. Nọmbà yẹn gidi, sùgbọ́n ó yẹ ká sọra nípa ohun tí “gidi” túmọ̀ sí nǐbí. A kò ka a taara láti image; a reconstruct rè pẹ̀lú chain of àwòṣe, ààlà rè sì gbooro fún idi tò honest. Story tò wúlò ju lọ ní apá méjì: ohun tí single caught leak kan lè sọ àti ohun tí kò lè sọ, àti èsì kejì tò dakẹ̀ sí i — attempt àkókò ní redshift tò ga bá yíi láti ìdánwò indirect way ti spotting leak, kí taara way tò dẹkun ṣiṣẹ́.

Kí ni “escape fraction,” kí ló sì mú un sòro tó bẹ̀ẹ̀?

Stars — pàápàá àwọn tó tóbi, tó gbóná, tó sì jẹ young — ní tú ultraviolet tó ní agbára tó lágbára tó láti lé electron kúrò lórí hydrogen atoms. Astronomers pe èyí ní ionizing radiation, tàbí ní wavelengths pàtò nàà, *Lyman-continuum* light. Èyí ni currency of reionization: àgbáyé di transparent nígbà tí photons wònyí tó pò tó jáde láti pa intergalactic hydrogen mó ní ionized ipò.

Sùgbón ìṣùpò ìràwò kan fúnra rẹ kún fún hydrogen. Ọpọ̀ ionizing light tí ìṣùpò ìràwò ẹ ni a soak up sáájú kí ó tó jáde — ó lo sí ionizing gas inú ìṣùpò ìràwò. *Escape fraction* ni share tó jáde sí intergalactic space, níbi tí ó ti lè ràn wider àgbáyé lówò láti reionize. Èyí ni crux gbogbo ìbèèrè nàà, ó sì sòro láti wọn fún idi méjì.

Àkókò, nígbà reionization, intergalactic medium sì kún fún neutral hydrogen, tó ní absorb gangan light tí o fẹ detect — nítorí nàà leaked light sáà má dé ọdọ wa. Èlẹ̀ẹ̀kẹ̀jì, paapaa nígbà tí o lè rí diẹ̀ rẹ̀ (lẹ̀yìn era nàà, lórí unusually clear line of sight), yíyí detection nàà padà sí escape fraction tùmò sí pín observed light pèlú iye tí ìṣùpò ìràwò produce — àti produced amount nàà o kò lè rí taara. O gbòdò àwòṣe rẹ̀ láti other ìṣùpò ìràwò light, inferred star-formation history àti assumptions nípa ìràwò fúnra wọn.

Ídì nìyẹn tí escape fractions fi ní wide àṣiṣe bars, àti pé nígbà tí intergalactic absorption nàà tún ní láti àwòṣe, detection kan nàà lè ẹ̀ àtìlẹ̀yìn fún broad ààlà of answers. Nọmbà nàà jẹ reconstruction, kì í ẹ̀ reading.

Ohun tí àwọn olùkòwé ẹ̀

- Wọn confirm jìnnà ìṣùpò ìràwò nàà pèlú deep spectroscopy láti MUSE instrument lórí VLT, tó mu emission line kan — Lyman-alpha — pèlú lopsided profile tó typical fún line yẹn ní high redshift, ó sì fix redshift sí $z = 4.442$. Wọn ìṣíró àfojúsùn chance foreground alignment sí 0.0076%.
- Wọn detect escaping ionizing (Lyman-continuum) light nínú deep Hubble F435W image — filter tí, ní redshift yí, ní rí light below 912 ångström nikan, iye light tí a ka sí “escaped.” Detection jẹ $5.2\text{--}5.3\sigma$ (sigma ní sọ bí àmì ẹ̀ jìn sí expected ariwo; 5σ jẹ strict statistical threshold, kì í ẹ̀ proof pé interpretation jẹ true — guide), wọn sì cross-check rẹ̀ pèlú flux nínú million empty sky patches láti dájú pé kì í ẹ̀ ariwo.
- Wọn òfin out classic trap fún claim irú yí — pé “escaping” light jẹ low-redshift ìṣùpò ìràwò tí ó wà ní iwájú ní chance — pèlú resolved shape orísun nàà àti custom de-blending tí faint neighbour kan.
- Wọn àwòṣe ìràwò ìṣùpò ìràwò nàà nípa fitting full Hubble-plus-JWST colours rẹ̀ (pèlú CIGALE code àti several stellar-population àwòṣe), tó tóka sí recent burst of ìràwò formation ní million years diẹ̀ sẹ̀yìn.
- Wọn àwòṣe iye ionizing light tí intergalactic medium lè ti absorb ní ọ̀nà, lórí 10,000 simulated sightlines, wọn sì combine gbogbo rẹ̀ láti derive escape fraction.
- Fún igba àkókò ní high redshift bá yí, wọn ìdánwò *indirect* way láti spot escape — shape àti extent tí Lyman-alpha line (“halo fraction”) — pèlú taara detection.

Ohun tí wọn rí

- Lyman-continuum emitter tó jìn jù lọ tí a ti detect taara, ní $z = 4.442$.
- Detection gidi tí escaping ionizing light fúnra rẹ̀ — kì í ẹ̀ inference, àmì nínú image ní $5.2\text{--}5.3\sigma$.

- High escape fraction, ààlà 50–100%, da lori assumptions — nílá, sùgbón model-dependent. (Separate *relative* ìsírò àfojúsùn tún ga sí i ju 100%. Èyí jẹ quirk ti definition — ó ní fi escaping ionizing light wé ultraviolet ìsùpò ìràwò láì kókó correct dust — kì í se pé light tó pò ju ìràwò produce lọ ní escape.)
- ẹrí láti fitted starlight pé recent burst of ìràwò formation ní drive production àti escape ti ionizing light.
- “Cautious se àtìlẹ̀yìn fún,” gégé bí àwọn olùkòwé ti sọ, fún lílo shape Lyman-alpha line gégé bí tracer of escape ní high redshift.

Ohun tí èyí kò fi ẹrí múlẹ̀

- Kò identify “ìsùpò ìràwò tí reionized àgbáyé.” Èyí jẹ ìsùpò ìràwò kan, ó sì wà tó 250 million years *lẹ̀yìn* tí reionization parí, kì í se nígbà rẹ. Ó jẹ stepping-stone sí era náà, kì í se picture ti ìṣẹ̀lẹ̀ náà.
- Escape fraction **kì í se measurement taara**. A reconstruct rẹ nípa pín observed light pẹ̀lú *modelled* ìsírò àfojúsùn ti light produced, lẹ̀yìn náà correct fún *modelled* intergalactic absorption — àwọn olùkòwé sì mọ̀mọ̀ adopt favourable line of sight, nítorí ìsùpò ìràwò tí leaked light rẹ dé ọdọ wa gbòdò wà ní clearer-than-average ìtọ̀sọ̀nà. Wide ààlà (50–100%, àti ga sí i ní relative terms) ni honest signature ti àwòṣe dependence yẹn.
- Kò validate tuntun Lyman-alpha tracer. “Cautious se àtìlẹ̀yìn fún” láti object kan jẹ first ìdánwò, kì í se confirmation.
- Kò settle fúnra rẹ pé bursty ìràwò formation lo drive reionization. Èyí jẹ reasonable interpretation láti ìsùpò ìràwò kan + tracer ìtupalẹ̀, kì í se demonstrated law.

Báwo ni ẹrí se lágbára tó?

- **Strong** níbi tí ó ti taara: redshift (distinctively-shaped Lyman-alpha line, pẹ̀lú 0.0076% chance foreground contamination) àti detection ti escaping light ($5.2-5.3\sigma$, checked against million empty apertures, foreground-interloper trap sì ti wa ni carefully closed).
- **Weaker, wọn sì sọ ó ní kedere, níbi tí ó modelled:** value ti escape fraction (tó da lórí stellar àwòṣe àti chosen intergalactic sightline), reionization “significance” (object kan + interpretation), àti tuntun tracer (first, cautious ìdánwò).
- Honesty iwé iwádíí náà wà nínú ààlà rẹ. Ó rọ̀yìn spans dípò single numbers, ó pe tracer se àtìlẹ̀yìn fún “cautious,” ó sì kò láti trust ọkan nínú ìsírò àfojúsùn tirẹ̀ fún intergalactic transmission. iwé iwádíí náà sọra, kò oversell ara rẹ; hype ewu wà níta rẹ.

Kí nìdí tí ó fi se pàtàkì?

Direct detections ti escaping ionizing light ti dé tó sunmọ reionization era bí ó se lè se — sí edge ibi tí light náà sì lè kojá díẹ̀. Èyí ní iye tirẹ̀. Sùgbón èsì tó dakẹ̀ sí i lè se pàtàkì jù: nígbà tí o bá wọ *inú* reionization, taara ọ̀nà kuna patapata, gbogbo nìkan sì gbẹ̀kẹ̀ lé indirect tracers tí a calibrate lórí nearer, easier ìsùpò ìràwò. Testing tracer kan níbí, níbi tí o sì lè check rẹ̀ against gidi detection, ni bí a se ní earn right láti trust rẹ̀ nígbà tó bá pé ju tí taara light kò sì seé rí. Iye MXDFz4.4 kéré sí “a rí ìsùpò ìràwò kan tí ó reionize àgbáyé” ju “a ní kọ bí a se ní ka leak, a sì bèrẹ̀

sí í check instruments wa fún òkùnkùn.”

Àkótán kedere

Astronomers pèlú Hubble àti JWST ti taara detect ionizing ultraviolet tó ní escape láti ìṣùpò ìràwò kan ní redshift 4.442 — detection tó jìn jù lọ tí di báyyí, tó 250 million years léyìn tí cosmic reionization parí. Detection fúnra rẹ solid. Widely quoted escape fraction 50–100% kì í ṣe measurement; a reconstruct rẹ pèlú àwòṣe tí ìràwò ìṣùpò ìràwò àti intergalactic absorption lórí deliberately favourable sightline, ìdí nìyẹn tí ààlà fi gbooro. Pèlú detection náà, egbé ṣe first high-redshift ìdánwò tí indirect way láti spot escaping light — shape of Lyman-alpha line — wọn sì rí “cautious ṣe àtìlẹ̀yìn fún” fún un. Èyí jẹ careful single-object èsì: gidi catch of the leak, honestly uncertain number mó ọ̀n, àti first step sí irinṣẹ̀ tí astronomers yòò nílò nígbà tí leak kò ṣeé rí mó.

Àyèwò láisí àṣejù

Ohun tí iwé iwádìí fi hàn: Direct $5.2\text{--}5.3\sigma$ detection ti escaping ionizing (Lyman-continuum) light láti ìṣùpò ìràwò ní $z = 4.442$ — highest-redshift such detection tí di báyyí — pèlú foreground-contamination trap tí a carefully òfin out.

Ohun tó ṣeé gbà ṣùgbọ̀n tí a kò fi ẹ̀rí múlẹ̀: Pé escape fraction ìṣùpò ìràwò jẹ 50–100%. Detection gidi; fraction jẹ reconstruction láti stellar-population àti intergalactic-absorption àwòṣe (lórí favourable sightline), ìdí nìyẹn tí ààlà fi gbooro. Tun plausible-but-unproven: pé Lyman-alpha line shape ṣiṣẹ̀ gégé bí escape tracer ní redshift tó ga báyyí — iwé iwádìí fún “cautious ṣe àtìlẹ̀yìn fún” láti object kan.

Ohun tí kò fi hàn: Pé èyí jẹ ìṣùpò ìràwò “tí reionized àgbáyé” (ó wà léyìn era, object kan sì ni), tàbí pé bursty ìràwò formation drive reionization (interpretation, kì í ṣe demonstration).

Main limitations: Sample of ọ̀kan; escape fraction tó da lórí àwòṣe choices àti deliberately clear sightline; first cautious ìdánwò tí tracer tuntun; àti difficulty nílá tí studying escaping ionizing light nítòsì era tí ó ti di invisible.

Confidence wo ni gbogbogbò reader yẹ kí ó ní? Gíga pé escaping light náà ni a detect gidi, àti pé èyí ni catch tó jìn jù lọ tí di báyyí. Low-to-moderate lórí exact escape fraction — ka “50–100%” gégé bí modelled ààlà, kì í ṣe measurement. Moderate lórí tracer tuntun: promising first check, kì í ṣe settled irinṣẹ̀.

Àwọn àtúnṣe léyìn itẹ̀jáde

- **Àtúnṣe · 2026-07-28**

Léyìn feedback láti Ilias Goovaerts, author paper náà, article ní introduce ionizing light láti opening dípò ultraviolet ní gbogbogbo, ó sì sọ kedere pé short-wavelength ultraviolet nikan — below 912-ångström Lyman limit — ni ionizing, nígbà tí longer-wavelength ultraviolet jẹ non-ionizing, a sì máa ní observe rẹ láti high-redshift galaxies.

Àwọn orísun

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>