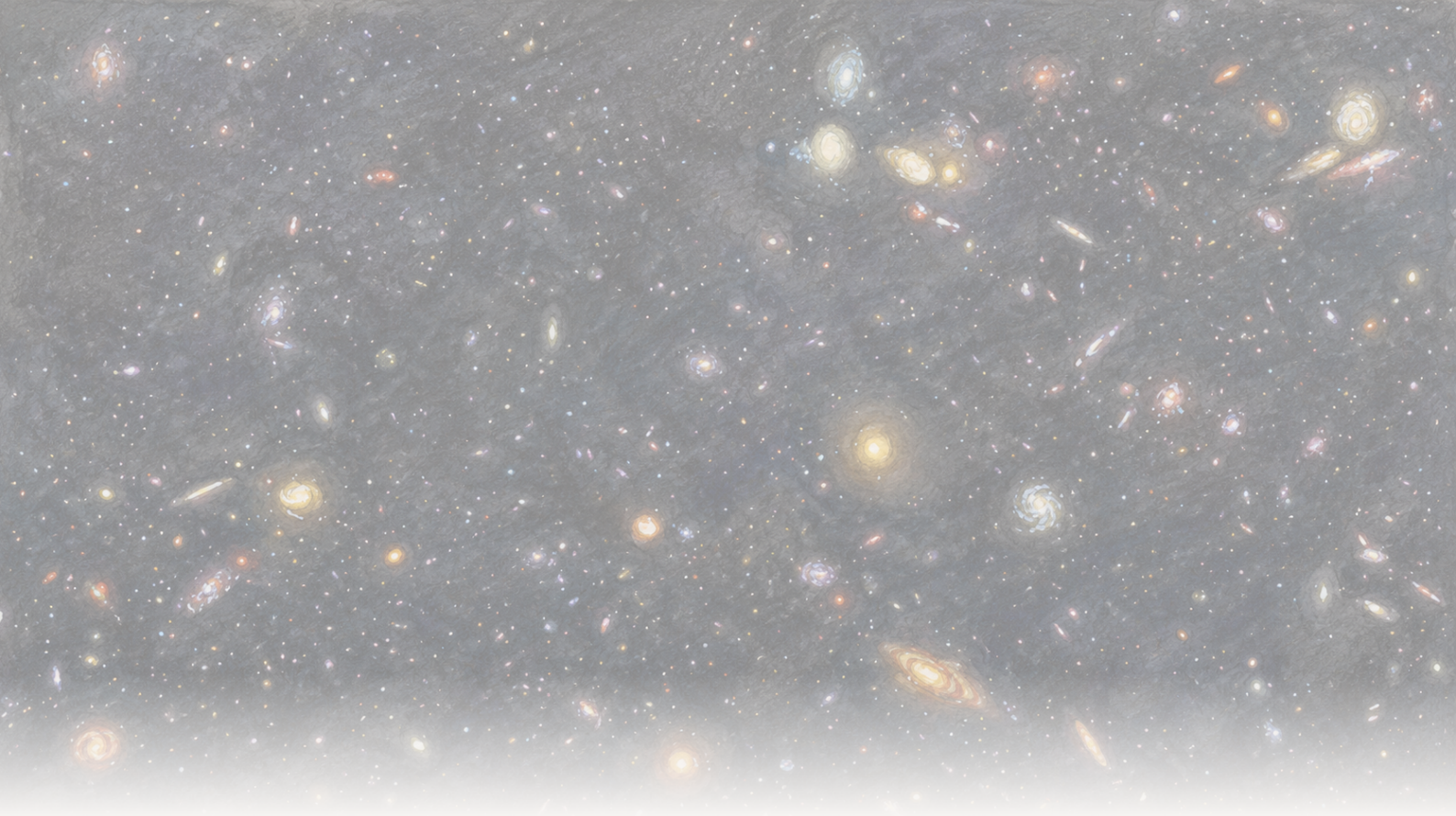




The CLEAN PAPER

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

Het verste sterrenstelsel tot nu toe betraapt op het lekken van zijn ioniserende licht

Astronomen gebruikten de JWST en Hubble om het ontsnappende ioniserende ultraviolet van één enkel sterrenstelsel op te vangen, ongeveer 250 miljoen jaar na de kosmische reïonisatie — het verste 'lek' van dit soort dat direct is gezien. De opvallende ontsnappingsfractie van 50-100% is echt, maar gereconstrueerd via modellen, niet gemeten; het stillere resultaat is een eerste test op hoge roodverschuiving van hoe het lek te herkennen is zodra het niet meer te zien is.

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

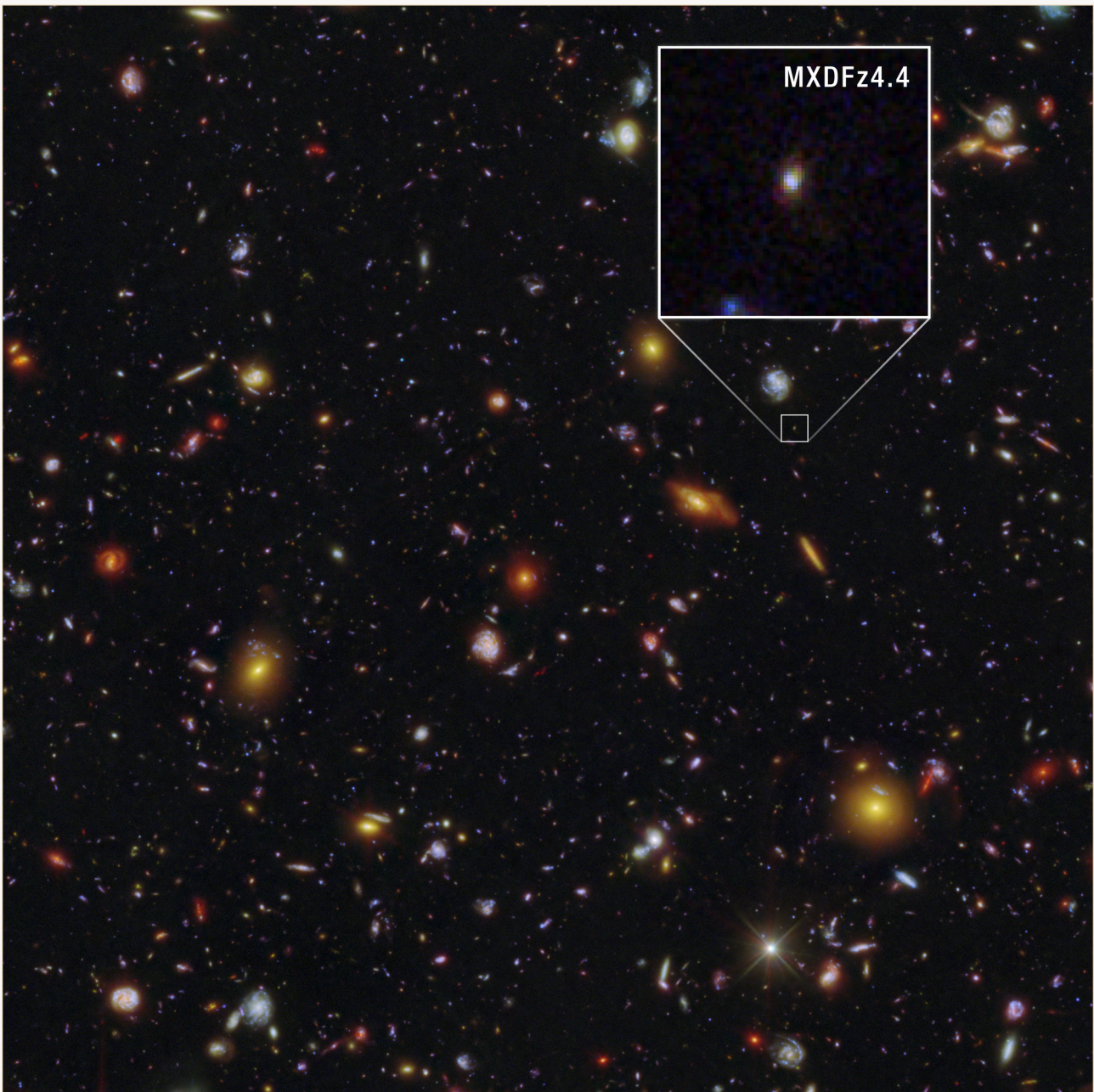
Paper: MXDFz4.4: A LyC emitter 250 Myr after the epoch of reionization and a first test of Lyman-alpha morphology as a tracer of LyC escape at high redshift, Ilias Goovaerts, Marc Rafelski, Alexander Beckett, Grecco Oyarzun, Annalisa Citro, Farhanul Hasan, Kalina V. Nedkova, Calum Hawcroft, Anton M.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

Het licht dat de mist verdreef

Gedurende zijn eerste paar honderd miljoen jaar was het universum ondoorzichtig. De ruimte was gevuld met neutrale waterstof — atomen met hun elektronen er nog aan vast — en neutrale waterstof is heel goed in het absorberen van *ioniserend* ultraviolet: het kortgolvlige licht, onder 912 ångström (de *Lymanlimiet*), energiek genoeg om het elektron van een waterstofatoom af te slaan. Niet alle ultraviolet doet dit — langgolvlige ultraviolet wordt niet op dezelfde manier geabsorbeerd, en we zien er volop van bij vroege sterrenstelsels — dus specifiek dit ioniserende licht werd door het jonge universum opgevangen. Toen, in de loop van ruwweg de volgende miljard jaar, overspoelde iets de kosmos met genoeg ervan om die elektronen er weer af te strippen, waardoor de waterstof ioniseerde en licht vrij kon reizen. Astronomen noemen dit het tijdperk van reïonisatie, en de voor de hand liggende verdachten zijn de eerste sterrenstelsels: de hete, kortlevende sterren daarin stoten ioniserend ultraviolet uit, en als daarvan genoeg naar de intergalactische ruimte ontsnapte, kunnen zij het werk hebben gedaan.

Het probleem is het woord *ontsnapte*. Het meeste ioniserende licht van een sterrenstelsel komt nooit naar buiten — het wordt geabsorbeerd door dezelfde waterstof binnen het stelsel die de sterren juist proberen te ioniseren. Slechts een zekere fractie lekt de ruimte in, en die fractie, de *ontsnappingsfractie*, is het lastigst vast te pinnen getal in het hele verhaal. Erger nog: tijdens de reïonisatie zelf is het gelekte licht vrijwel onmogelijk op te vangen: de intergalactische mist die het helpt op te klaren, absorbeert het lang voordat het ons bereikt. Om het lek te bestuderen moeten astronomen dus net *na* het optrekken van de mist kijken, naar sterrenstelsels die dicht genoeg bij dat tijdperk staan om ervoor door te kunnen gaan.

Een team onder leiding van Ilias Goovaerts heeft dat lek nu ongeveer zo ver terug in de tijd betrapt als het ooit is gezien. Met diepe opnamen van Hubble en de JWST rapporteren ze één enkel zwak sterrenstelsel — gecatalogiseerd als MXDFz4.4 — waarvan het ontsnappende ioniserende ultraviolet als een lichtvlekje opduikt in één Hubble-filter. Het stelsel bevindt zich op roodverschuiving 4.442, ruwweg 250 miljoen jaar nadat de reïonisatie eindigde: het verste direct gedetecteerde “lek” ooit geregistreerd.



MXDFz4.4 (vergroot weergegeven, inzet) is een zwak vlekje in dit diepe Hubble- en JWST-veld — het verste sterrenstelsel dat tot nu toe direct is betrapt op het lekken van zijn ioniserende ultraviolet, gezien ongeveer 250 miljoen jaar nadat de kosmische reïonisatie eindigde.

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

Het getal dat uit dit artikel de wereld in zal gaan is de ontsnappingsfractie, en die is hoog — ergens tussen de helft en al het ioniserende licht van het stelsel. Dat getal is echt, maar het loont om zorgvuldig te zijn over wat “echt” hier betekent. Het is niet van het beeld afgelezen; het is gereconstrueerd via een keten van modellen, en zijn bandbreedte is om een eerlijke reden groot. Het nuttiger verhaal bestaat uit twee delen: wat één betrapt lek ons wel en niet kan vertellen, en een stiller tweede resultaat — de eerste poging, zo ver terug, om een indirecte manier om het lek te herkennen te toetsen, met het oog op de dag dat de directe manier ophoudt te werken.

Wat een “ontsnappingsfractie” is, en waarom die zo glibberig is

Sterren — vooral de grootste, heetste, jongste — geven ultraviolet af dat energiek genoeg is om elektronen van waterstofatomen af te slaan. Astronomen noemen dit ioniserende straling, of, bij de specifieke golflengten in kwestie, *Lyman-continuüm*-licht. Het is de munteenheid van de reïonisatie: het universum werd doorzichtig toen genoeg van deze fotonen werden losgelaten om de intergalactische waterstof geïoniseerd te houden.

Maar een sterrenstelsel zit zelf ook vol waterstof. Veel van het ioniserende licht dat een stelsel maakt, wordt opgeslokt voordat het ooit vertrekt — besteed aan het ioniseren van het eigen gas van het stelsel. De *ontsnappingsfractie* is het aandeel dat de intergalactische ruimte in komt, waar het daadwerkelijk kan helpen het bredere universum te reïoniseren. Het is de kern van de hele vraag, en het is moeilijk te meten, om twee redenen.

Ten eerste zit het intergalactische medium tijdens de reïonisatie nog vol neutrale waterstof, die precies het licht absorbeert dat je probeert te detecteren — dus het gelekte licht bereikt ons meestal helemaal niet. Ten tweede: zelfs wanneer je er iets van *kunt* zien (net na het tijdperk, langs een ongewoon heldere gezichtslijn), betekent het omzetten van die detectie in een ontsnappingsfractie dat je wat je waarneemt moet delen door wat het stelsel produceerde — en wat het produceerde kun je evenmin direct zien. Je moet het modelleren: uit het overige licht van het stelsel, zijn afgeleide stervormingsgeschiedenis en aannames over de sterren zelf. Daarom komen ontsnappingsfracties met brede foutmarges, en daarom kan — zodra ook de intergalactische absorptie gemodelleerd moet worden — dezelfde detectie een breed scala aan antwoorden ondersteunen. Het getal is een reconstructie, geen aflezing.

Wat de auteurs deden

- Bevestigden de afstand van het stelsel met diepe spectroscopie van het MUSE-instrument op de VLT, dat één enkele emissielijn opving — Lyman-alfa — met het scheve profiel dat typisch is voor die lijn bij hoge roodverschuiving, en legden de roodverschuiving vast op $z = 4.442$. De kans op een toevallige uitlijning met een voorgrondobject stelden ze op 0.0076%.
- Detecteerden het ontsnappende ioniserende (Lyman-continuüm)licht in een diepe Hubble F435W-opname — het filter dat, bij deze roodverschuiving, alleen het licht onder 912 ångström ziet dat als “ontsnapt” telt. De detectie ligt op $5.2\text{--}5.3\sigma$ (sigma meet hoe ver een signaal boven de verwachte ruis uitkomt; 5σ is een zeer strenge statistische drempel, geen bewijs dat de interpretatie klopt — gids), gecontroleerd tegen de flux in een miljoen lege stukjes hemel om zeker te zijn dat het geen ruis was.
- Sloten de klassieke valkuil voor dit soort claims uit — dat het “ontsnappende” licht in werkelijkheid een sterrenstelsel op lage roodverschuiving is dat er toevallig vóór staat — met behulp van de geresolveerde vorm van de bron en een op maat gemaakte de-blending van een zwakke buur.
- Modelleerden de sterren van het stelsel door zijn volledige Hubble-plus-JWST-kleuren te fitten (met de CIGALE-code en verscheidene sterpopulatiemodellen), wat wees op een recente uitbarsting van stervorming een paar miljoen jaar geleden.
- Modelleerden hoeveel ioniserend licht het intergalactische medium onderweg zou hebben geabsorbeerd, over 10,000 gesimuleerde gezichtslijnen, en combineerden dit alles om de ontsnap-

pingsfractie af te leiden.

- Toetsten, voor het eerst zo ver terug, een *indirecte* manier om ontsnapping te herkennen — de vorm en omvang van de Lyman-alfa-lijn (zijn “halofractie”) — aan de directe detectie.

Wat ze vonden

- De verste direct gedetecteerde Lyman-continuüm-emitter tot nu toe, op $z = 4.442$.
- Een echte detectie van het ontsnappende ioniserende licht zelf — geen gevolgtrekking, maar een signaal in het beeld op $5.2\text{--}5.3\sigma$.
- Een hoge ontsnappingsfractie, in het bereik van 50–100%, afhankelijk van de aannames — groot, maar modelafhankelijk. (Een aparte *relatieve* schatting valt nog hoger uit, boven de 100%. Dat is een eigenaardigheid van hoe die gedefinieerd is — hij vergelijkt het ontsnappende ioniserende licht met het ultraviolet van het stelsel zonder eerst voor stof te corrigeren — geen teken dat er meer licht ontsnapt dan de sterren daadwerkelijk maken.)
- Aanwijzingen, uit het gefitte sterlicht, dat een recente uitbarsting van stervorming zowel de productie als de ontsnapping van het ioniserende licht aandrijft.
- “Voorzichtige steun”, in de woorden van de auteurs, voor het gebruik van de vorm van de Lyman-alfa-lijn als indicator van ontsnapping bij hoge roodverschuiving.

Wat dit niet bewijst

- Het identificeert **niet** “de sterrenstelsels die het universum reïoniseerden”. Dit is één stelsel, en wel één dat ongeveer 250 miljoen jaar *na* het einde van de reïonisatie staat, niet erin. Het is een opstapje richting het tijdperk, geen beeld van de gebeurtenis.
- De ontsnappingsfractie is **geen** meting. Ze wordt gereconstrueerd door het waargenomen licht te delen door een *gemodelleerde* schatting van het geproduceerde licht, en vervolgens te corrigeren voor een *gemodelleerde* hoeveelheid intergalactische absorptie — en de auteurs kiezen bewust een gunstige gezichtslijn, omdat een stelsel waarvan het gelekte licht ons überhaupt bereikt in een helderder-dan-gemiddelde richting moet staan. Het brede bereik (50–100%, en in relatieve termen hoger) is de eerlijke signatuur van die modelafhankelijkheid.
- Het valideert **niet** de nieuwe Lyman-alfa-indicator. “Voorzichtige steun” van één enkel object is een eerste test, geen bevestiging.
- Het beslecht op zichzelf **niet** dat stervorming in uitbarstingen de reïonisatie aandreef. Dat is een redelijke interpretatie gebouwd op één stelsel plus de indicatoranalyse, geen aangetoonde wet.

Hoe sterk is het bewijs

- **Sterk** waar het direct is: de roodverschuiving (een Lyman-alfa-lijn met kenmerkende vorm, met een kans van 0.0076% op voorgrondcontaminatie) en de detectie van het ontsnappende licht

($5.2\text{--}5.3\sigma$, gecontroleerd tegen een miljoen lege aperturen, met de valkuil van de voorgrond-indringer — datgene wat eerdere ontsnappingsclaims op hoge roodverschuiving heeft ontkracht — zorgvuldig gesloten).

- **Zwakker, en daar openlijk over, waar het gemodelleerd is:** de *waarde* van de ontsnappingsfractie (die afhangt van het stermodel en de gekozen intergalactische gezichtslijn), de “betekenis” voor de reïonisatie (één object, plus interpretatie), en de nieuwe indicator (een eerste, voorzichtige test).
- De eerlijkheid van het artikel zit in zijn marges. Het rapporteert bereiken in plaats van losse getallen, noemt de steun voor zijn indicator “voorzichtig”, en weigert zelfs een van zijn eigen schattingen van de intergalactische transmissie te vertrouwen. Dit is een zorgvuldig artikel dat zichzelf niet te groot verkoopt; het risico op hype ligt volledig buiten de deur.

Waarom het ertoe doet

Directe detecties van ontsnappend ioniserend licht zijn nu ongeveer zo dicht naar het tijdperk van reïonisatie geduwd als maar kan — tot aan de rand van waar het licht nog *nét* doorkomt. Dat is op zichzelf iets waard. Maar het stillere resultaat is misschien belangrijker: zodra je je *binnen* de reïonisatie bevindt, faalt de directe methode volledig, en rust alles op indirecte indicatoren die gekalibreerd zijn op dichterbij gelegen, makkelijkere stelsels. Zo’n indicator hier toetsen, waar je hem nog kunt controleren aan een echte detectie, is hoe je het recht verdient om hem later te vertrouwen, waar dat niet meer kan. De waarde van MXDFz4.4 is minder “we hebben een sterrenstelsel gevonden dat het universum reïoniseerde” en meer “we leren het lek te lezen, en beginnen onze instrumenten te controleren voor het donker”.

Heldere samenvatting

Astronomen hebben met Hubble en de JWST direct het ioniserende ultraviolet gedetecteerd dat ontsnapt uit één enkel sterrenstelsel op roodverschuiving 4.442 — de verste detectie van dit soort tot nu toe, ongeveer 250 miljoen jaar nadat de kosmische reïonisatie eindigde. De detectie zelf is solide. De breed citeerbare ontsnappingsfractie van 50–100% is niet gemeten maar gereconstrueerd, via modellen van de sterren van het stelsel en van intergalactische absorptie langs een bewust gunstige gezichtslijn, en daarom is het bereik zo groot. Naast de detectie voerde het team de eerste test op hoge roodverschuiving uit van een indirecte manier om ontsnappend licht te herkennen — de vorm van de Lyman-alfa-lijn — en vond er “voorzichtige steun” voor. Het is een zorgvuldig resultaat op basis van één object: een echte vangst van het lek, een eerlijk onzeker getal eraan vastgemaakt, en een eerste stap richting de gereedschappen die astronomen nodig zullen hebben zodra het lek helemaal niet meer te zien is.

Zonder omwegen

Wat het artikel aantoont: Een directe detectie op $5.2\text{--}5.3\sigma$ van ontsnappend ioniserend (Lyman-continuüm)licht uit een sterrenstelsel op $z = 4.442$ — de detectie op de hoogste roodverschuiving van dit soort tot nu toe — waarbij de valkuil van voorgrondcontaminatie zorgvuldig is uitgesloten.

Wat plausibel maar niet bewezen is: Dat de ontsnappingsfractie van het stelsel 50–100% is. De detectie is echt; de fractie is gereconstrueerd via modellen van sterpopulaties en intergalactische absorptie (langs een gunstige gezichtslijn), en daarom beslaat ze zo'n breed bereik. Ook plausibel-maar-onbewezen: dat de vorm van de Lyman-alfa-lijn zo ver terug werkt als indicator van ontsnapping — het artikel biedt “voorzichtige steun” van één object.

Wat het niet aantoont: Dat dit een sterrenstelsel is “dat het universum reïoniseerde” (het staat na het tijdperk, en is één enkel object), of dat stervorming in uitbarstingen de reïonisatie aandreef (een interpretatie, geen demonstratie).

Belangrijkste beperkingen: Een steekproef van één; een ontsnappingsfractie die afhangt van modelkeuzes en een bewust heldere gezichtslijn; een eerste, voorzichtige test van de nieuwe indicator; en de pure moeilijkheid van het bestuderen van ontsnappend ioniserend licht zo dicht bij het tijdperk waarin het onzichtbaar wordt.

Hoeveel vertrouwen mag een gewone lezer hebben? Veel vertrouwen dat het ontsnappende licht echt is gedetecteerd, en dat dit de verste vangst van dit soort tot nu toe is. Weinig tot matig vertrouwen in de exacte ontsnappingsfractie — behandel “50–100%” als een gemodelleerd bereik, geen meting. Matig vertrouwen in de nieuwe indicator: een veelbelovende eerste controle, geen uitgekristalliseerd gereedschap.

Updates na publicatie

• Correctie · 2026-07-28

Na feedback van Ilias Goovaerts, een van de auteurs van het artikel, introduceert het stuk nu ioniserend licht meteen vanaf het begin in plaats van ultraviolet in het algemeen, en maakt expliciet dat alleen kortgolvig ultraviolet — onder de Lymanlimiet van $912\text{ \AA}$ — ioniserend is, terwijl langgolvig ultraviolet niet-ioniserend is en routinematig wordt waargenomen bij sterrenstelsels met hoge roodverschuiving.

Bronnen

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>