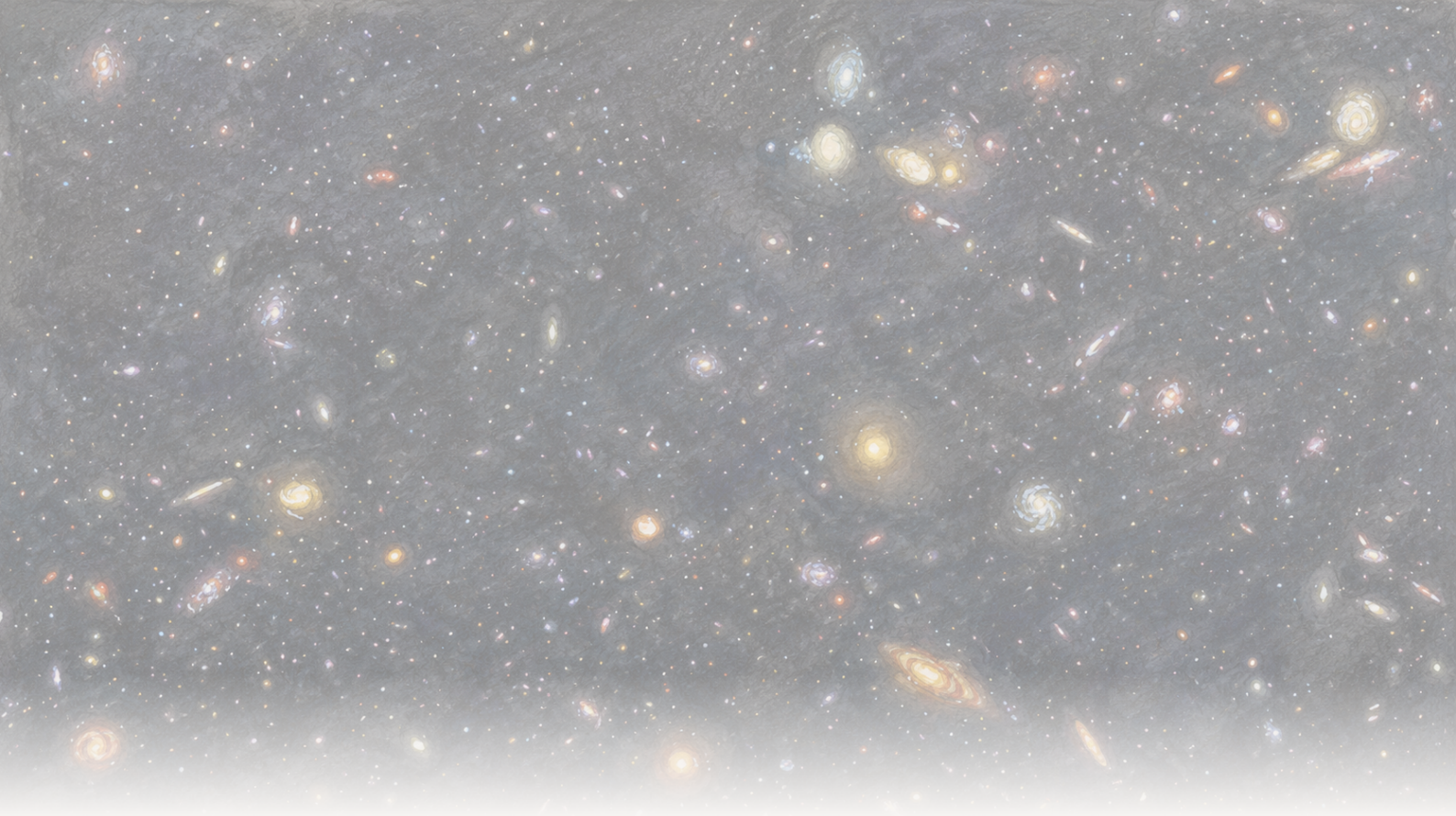




The CLEAN PAPER

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

Den fjerneste galaksen som hittil er sett lekke ioniserende lys

Astronomer brukte JWST og Hubble til å fange opp ioniserende ultrafiolett lys som slipper ut fra én galakse omtrent 250 millioner år etter den kosmiske reioniseringen — den fjerneste slike lekkasjen som er sett direkte. Den mye omtalte fluktfraksjonen på 50-100% er reell, men rekonstruert gjennom modeller, ikke målt; det stillere resultatet er den første testen ved høy rødforskyvning av hvordan lekkasjen kan oppdages når den ikke lenger kan sees.

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

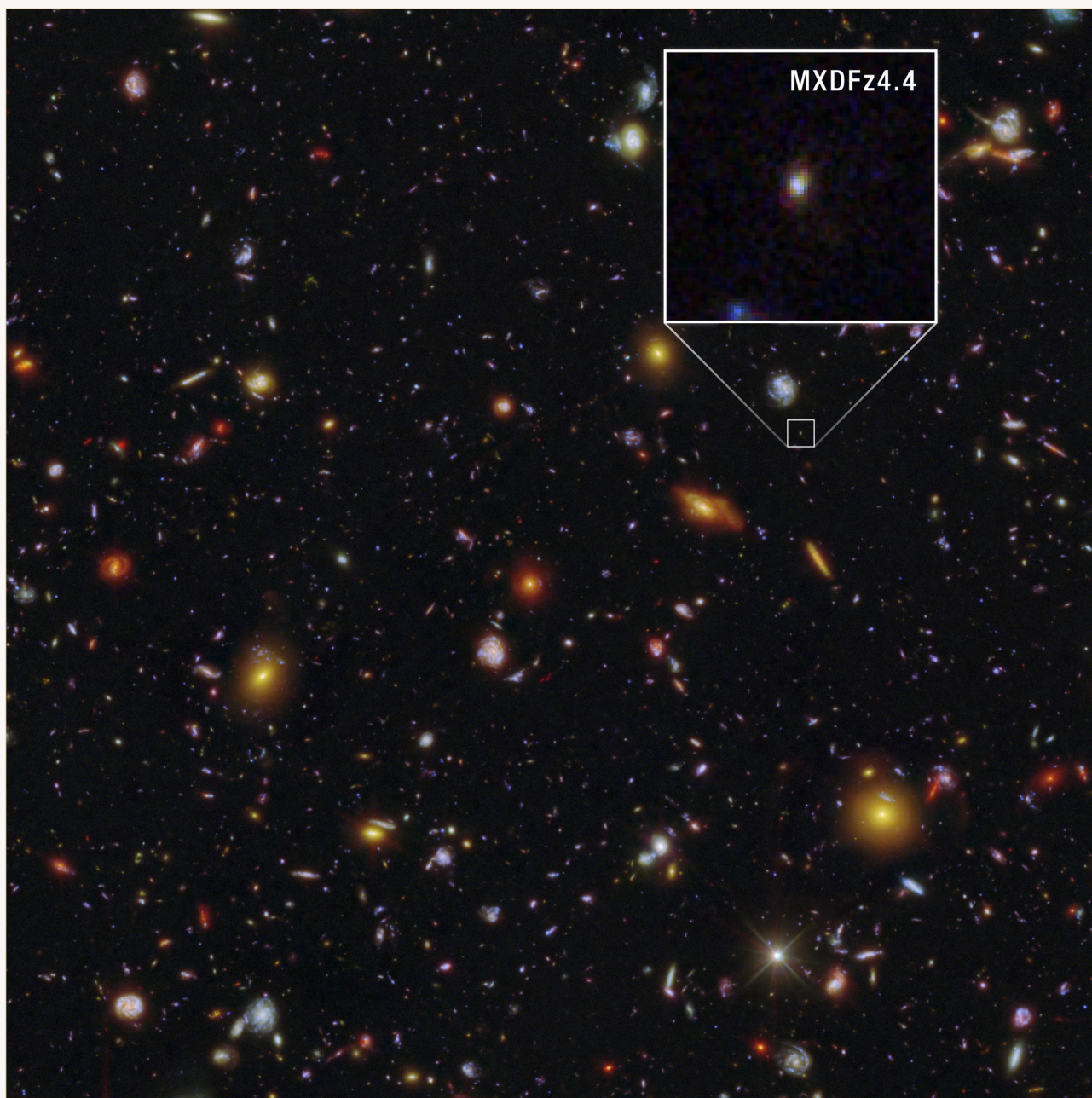
Paper: MXDFz4.4: A LyC emitter 250 Myr after the epoch of reionization and a first test of Lyman-alpha morphology as a tracer of LyC escape at high redshift, Ilias Goovaerts, Marc Rafelski, Alexander Beckett, Grecco Oyarzun, Annalisa Citro, Farhanul Hasan, Kalina V. Nedkova, Calum Hawcroft, Anton M.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

Lyset som lettet tåken

I sine første flere hundre millioner år var universet ugjennomsiktig. Rommet var fylt med nøytralt hydrogen — atomer som fortsatt hadde elektronene sine bundet til seg — og nøytralt hydrogen er svært effektivt til å absorbere *ioniserende* ultrafiolett: det kortbølgede lyset under 912 ångström (*Lyman-grensen*), energisk nok til å slå elektronet løs fra et hydrogenatom. Ikke all ultrafiolett gjør dette — langbølget ultrafiolett absorberes ikke på samme måte, og vi ser rikelig av den fra tidlige galakser — så det er spesifikt dette ioniserende lyset det unge universet fanget inn. I løpet av de neste omtrent én milliard årene fylte så noe kosmos med nok av det til å rive elektronene løs igjen, ionisere hydrogenet og la lyset bevege seg fritt. Astronomer kaller dette reioniseringsepoken, og de opplagte kandidatene er de første galaksene: De varme, kortlivede stjernene i dem sender ut ioniserende ultrafiolett lys, og hvis nok av det slapp ut i det intergalaktiske rommet, kan de ha gjort jobben.

Problemet ligger i ordene *slapp ut*. Det meste av det ioniserende lyset fra en galakse kommer seg aldri ut — det absorberes av det samme hydrogenet inne i galaksen som stjernene forsøker å ionisere. Bare en viss andel lekker ut i rommet, og denne andelen, *fluktfraksjonen*, er det aller vanskeligste tallet å fastslå i hele historien. Enda verre er det at lyset som lekker ut, er nesten umulig å fange opp under selve reioniseringen: Den intergalaktiske tåken som lyset bidrar til å lette, absorberer det lenge før det når oss. For å studere lekkasjen må astronomene derfor se på tiden like *etter* at tåken lettet, og på galakser som ligger nær nok epoken til å kunne representere den.

Et forskerteam ledet av Ilias Goovaerts har nå fanget opp denne lekkasjen omtrent så langt tilbake i tid som den noen gang er blitt observert. Ved hjelp av dypavbildning fra Hubble og JWST rapporterer de om én lyssvak galakse — katalogført som MXDFz4.4 — der det ioniserende ultrafiolette lyset som slipper ut, fremstår som en svak flekk i ett Hubble-filter. Galaksen ligger ved rødforskyvning 4.442, omtrent 250 millioner år etter at reioniseringen tok slutt: den fjerneste galaksen hittil der lekkasjen er påvist direkte.



MXDFz4.4 (forstørret i det innfelte bildet) er en svak flekk i dette dypfeltet fra Hubble og JWST — den fjerneste galaksen der ioniserende ultrafiolett lys hittil er fanget direkte idet det lekker ut, sett omtrent 250 millioner år etter at den kosmiske reionisering tok slutt.

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

Tallet fra denne artikkelen som kommer til å få størst utbredelse, er fluktfraksjonen, og den er høy — et sted mellom halvparten og alt det ioniserende lyset fra galaksen. Tallet er reelt, men det er verdt å være nøye med hva «reelt» betyr her. Det ble ikke målt direkte i bildet; det ble rekonstruert gjennom en kjede av modeller, og det brede intervallet har en saklig grunn. Den mest nyttige historien består av to deler: hva én fanget lekkasje kan og ikke kan fortelle oss, og et stillere resultat nummer to — det første forsøket så langt tilbake i tid på å prøve ut en indirekte måte å oppdage lekkasjen på, før dagen da den direkte metoden slutter å virke.

Hva en «fluktfraksjon» er, og hvorfor den er så vanskelig å få tak på

Stjerner — særlig de største, varmeste og yngste — avgir ultrafiolett lys med nok energi til å slå elektroner løs fra hydrogenatomer. Astronomer kaller dette ioniserende stråling eller, ved de bestemte bølgelengdene det gjelder, *Lyman-kontinuumlys*. Det er reioniseringens valuta: Universet ble gjennomiktig da nok av disse fotonene ble sluppet fri til å holde det intergalaktiske hydrogenet ionisert.

Men en galakse er også full av hydrogen. Mye av det ioniserende lyset en galakse produserer, absorberes før det noen gang forlater den — det går med til å ionisere galaksens egen gass. *Fluktfraksjonen* er andelen som kommer seg ut i det intergalaktiske rommet, der den faktisk kan bidra til å reionisere resten av universet. Den er kjernen i hele spørsmålet, og den er vanskelig å måle av to grunner.

For det første er det intergalaktiske mediet under reioniseringen fortsatt fullt av nøytralt hydrogen, som absorberer nettopp det lyset man forsøker å oppdage — dermed når lyset som har sluppet ut, vanligvis aldri frem til oss. For det andre må man, selv når noe av det *kan sees* (like etter epoken, langs en uvanlig klar siktlinje), dividere det observerte med det galaksen produserte for å gjøre påvisningen om til en fluktfraksjon — og heller ikke det som ble produsert, kan observeres direkte. Det må modelleres: ut fra det øvrige lyset fra galaksen, den antatte stjernedannelseshistorien og forutsetninger om selve stjernene.

Derfor har fluktfraksjoner store feilmarginer, og derfor kan den samme påvisningen — når også den intergalaktiske absorpsjonen må modelleres — gi støtte til et bredt spenn av svar. Tallet er en rekonstruksjon, ikke en avlesning.

Hva forfatterne gjorde

- Bekreftet galaksens avstand med dypspektroskopi fra MUSE-instrumentet på VLT, som registrerte én emisjonslinje — Lyman-alfa — med den asymmetriske profilen som er typisk for denne linjen ved høy rødforskyvning, og dermed fastslo rødforskyvningen til $z = 4.442$. De beregnet sannsynligheten for en tilfeldig overlapping med et forgrunnsobjekt til 0.0076%.
- Påviste det ioniserende lyset (Lyman-kontinuum) som slipper ut, i et dypt Hubble-bilde tatt med F435W — filteret som ved denne rødforskyvningen bare ser lys under 912 ångstrøm, altså lyset som regnes som «sluppet ut». Påvisningen ligger på $5.2\text{--}5.3\sigma$ (sigma angir hvor langt et signal ligger over forventet støy; 5σ er en svært streng statistisk terskel, ikke et bevis på at tolkningen er riktig — veiledning), og ble kryssjekket mot fluksen i én million tomme områder på himmelen for å sikre at det ikke var støy.
- Utelukket den klassiske fellen ved denne typen påstand — at lyset som «slipper ut», egentlig kommer fra en galakse med lav rødforskyvning som tilfeldigvis ligger foran — ved hjelp av kildens oppløste form og en spesialtilpasset separering av en lyssvak nabogalakse.
- Modellerte stjernene i galaksen ved å tilpasse hele fargeprofilen fra Hubble og JWST (med CIGALE-koden og flere modeller for stjernepopulasjoner), noe som pekte mot et utbrudd av stjernedannelse for noen millioner år siden.
- Modellerte hvor mye ioniserende lys det intergalaktiske mediet ville ha absorbert underveis, over 10,000 simulerte siktlinjer, og kombinerte alt for å utlede fluktfraksjonen.

- Testet, for første gang så langt tilbake i tid, en *indirekte* måte å oppdage lekkasjen på — formen og utstrekningen til Lyman-alfa-linjen (dens «halofraksjon») — opp mot den direkte påvisningen.

Hva de fant

- Den fjerneste direkte påviste kilden til Lyman-kontinuum hittil, ved $z = 4.442$.
- En reell påvisning av selve det ioniserende lyset som slipper ut — ikke en slutning, men et signal i bildet på $5.2\text{--}5.3\sigma$.
- En høy fluktfraksjon, i intervallet 50–100% avhengig av forutsetningene — stor, men modellavhengig. (Et separat *relativt* anslag er enda høyere, over 100%. Det skyldes en egenhet ved definisjonen — det sammenligner det ioniserende lyset som slipper ut, med det ultrafiolette lyset fra galaksen uten først å korrigere for støv — ikke at mer lys slipper ut enn stjernene faktisk produserer.)
- Holdepunkter i det tilpassede stjernelyset for at et nylig utbrudd av stjernedannelse driver både produksjonen og lekkasjen av det ioniserende lyset.
- «Forsiktig støtte», med forfatterens ord, for å bruke formen på Lyman-alfa-linjen som indikator på lekkasje ved høy rødforskyvning.

Hva dette ikke beviser

- Det identifiserer **ikke** «galaksene som reioniserte universet». Dette er én galakse, og den befinner seg omtrent 250 millioner år *etter* at reioniseringen tok slutt, ikke under den. Den er et skritt på veien mot epoken, ikke et bilde av selve hendelsen.
- Fluktfraksjonen er **ikke** en måling. Den rekonstrueres ved å dividere det observerte lyset med et *modellert* anslag for lyset som ble produsert, og deretter korrigere for en *modellert* mengde intergalaktisk absorpsjon — og forfatterne velger bevisst en gunstig siktlinje, fordi en galakse der lyset som slipper ut, i det hele tatt når frem til oss, må ligge i en klarere retning enn gjennomsnittet. Det brede intervallet (50–100%, og høyere i relative termer) er det ærlige uttrykket for denne modellavhengigheten.
- Det validerer **ikke** den nye Lyman-alfa-indikatoren. «Forsiktig støtte» fra ett enkelt objekt er en første test, ikke en bekreftelse.
- Det fastslår **ikke** alene at stjernedannelse i utbrudd drev reioniseringen. Det er en rimelig tolkning som bygger på én galakse og indikatoranalysen, ikke en påvist lov.

Hvor sterke er bevisene?

- **Sterke** der de er direkte: rødforskyvningen (en Lyman-alfa-linje med karakteristisk form og 0.0076% sannsynlighet for forgrunnsforurensning) og påvisningen av lyset som slipper ut ($5.2\text{--}5.3\sigma$, kontrollert mot én million tomme aperturer, med forgrunnsobjektfeilen — det som tidligere har felt påstander om lekkasje ved høy rødforskyvning — grundig lukket).

- **Svakere, og åpent omtalt som det, der de er modellert:** verdien av fluktfraksjonen (som avhenger av stjernemodellen og den valgte intergalaktiske siktlinjen), «betydningen» for reioniseringen (ett objekt pluss en tolkning) og den nye indikatoren (en første, forsiktig test).
- Artikkelen redelighet ligger i intervallene. Den oppgir spenn i stedet for enkelttall, kaller støtten til indikatoren «forsiktig» og avstår til og med fra å stole på ett av sine egne anslag for den intergalaktiske transmisjonen. Dette er en grundig artikkel som ikke overselger resultatene; faren for overdrivelser ligger utelukkende utenfor den.

Hvorfor det er viktig

Direkte påvisninger av ioniserende lys som slipper ut, er nå presset omtrent så nær reioniseringsepoken som det er mulig å komme — til grensen der lyset fortsatt så vidt slipper gjennom. Det har en verdi i seg selv. Men det stillere resultatet kan være viktigere: Når man først er *inne i* reioniseringen, svikter den direkte metoden fullstendig, og alt hviler på indirekte indikatorer som er kalibrert mot nærmere og enklere galakser. Å teste en av disse indikatorene her, der den fortsatt kan kontrolleres mot en reell påvisning, er det som skal til for at man senere skal kunne stole på den, der en slik kontroll ikke er mulig. Verdien av MXDFz4.4 er mindre «vi har funnet en galakse som reioniserte universet» og mer «vi lærer å lese lekkasjen og begynner å kontrollere instrumentene våre mot mørket».

Kort oppsummert

Astronomer som brukte Hubble og JWST, har direkte påvist ioniserende ultrafiolett lys som slipper ut fra én galakse ved rødforskyvning 4.442 — den fjerneste påvisningen av dette slaget hittil, omtrent 250 millioner år etter at den kosmiske reioniseringen tok slutt. Selve påvisningen er solid. Den mye siterte fluktfraksjonen på 50–100% er ikke målt, men rekonstruert gjennom modeller av stjernene i galaksen og den intergalaktiske absorpsjonen langs en bevisst gunstig siktlinje, noe som forklarer det brede intervallet. Sammen med påvisningen gjennomførte teamet den første testen ved høy rødforskyvning av en indirekte måte å oppdage lys som slipper ut, på — formen på Lyman-alfa-linjen — og fant «forsiktig støtte» for den. Dette er et grundig resultat fra ett enkelt objekt: en virkelig fangst av lekkasjen, et oppriktig usikkert tall knyttet til den og et første skritt mot verktøyene astronomene vil trenge når lekkasjen ikke lenger kan sees i det hele tatt.

Nøktern vurdering

Hva artikkelen viser: En direkte påvisning på $5.2\text{--}5.3\sigma$ av ioniserende lys (Lyman-kontinuum) som slipper ut fra en galakse ved $z = 4.442$ — den høyeste rødforskyvningen for en slik påvisning hittil — der fellen med forgrunnsforurensning er grundig utelukket.

Hva som er plausibelt, men ikke bevist: At fluktfraksjonen til galaksen er 50–100%. Påvisningen er

reell; fraksjonen rekonstrueres gjennom modeller av stjernepopulasjoner og intergalaktisk absorpsjon (langs en gunstig siktlinje), og derfor dekker den et så bredt intervall. Også plausibelt, men ikke bevist: at formen på Lyman-alfa-linjen fungerer som indikator på lekkasje så langt tilbake i tid — artikkelen gir «forsiktig støtte» fra ett objekt.

Hva den ikke viser: At dette er en galakse «som reioniserte universet» (den befinner seg etter epoken og er ett enkelt objekt), eller at stjernedannelse i utbrudd drev reioniseringen (en tolkning, ikke en påvisning).

Viktigste begrensninger: Et utvalg på ett objekt; en fluktfraksjon som avhenger av modellvalg og en bevisst klar siktlinje; en første, forsiktig test av den nye indikatoren; og den ekstreme vanskeligheten med å studere ioniserende lys som slipper ut, så nær epoken der det blir usynlig.

Hvor stor tillit bør en vanlig leser ha? Høy tillit til at lyset som slipper ut, virkelig ble påvist, og at dette er den fjerneste fangsten av sitt slag hittil. Lav til moderat tillit til den nøyaktige fluktfraksjonen — forstå «50–100%» som et modellert intervall, ikke en måling. Moderat tillit til den nye indikatoren: en lovende første kontroll, ikke et etablert verktøy.

Oppdateringer etter publisering

- **Rettelse · 2026-07-28**

Etter tilbakemelding fra Ilias Goovaerts, en av forfatterne av artikkelen, introduserer artikkelen nå ioniserende lys helt fra starten i stedet for ultrafiolett generelt, og gjør det eksplisitt at bare kortbølget ultrafiolett — under Lyman-grensen på 912 ångström — er ioniserende, mens langbølget ultrafiolett er ikke-ioniserende og rutinemessig observeres i galakser med høy rødforskyvning.

Kilder

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>