



The CLEAN PAPER

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

Den mest avlägsna galax som hittills setts läcka joniserande ljus

Astronomer använde JWST och Hubble för att fånga ultraviolett ljus som läcker ut från en enda galax ungefär 250 miljoner år efter den kosmiska återjoniseringen — det mest avlägsna sådana läckage som har observerats direkt. Den uppmärksammade flyktfraktionen på 50-100% är reell men rekonstruerad genom modeller, inte uppmätt; det stillsammare resultatet är det första testet vid hög rödförskjutning av hur läckaget kan upptäckas när det inte längre går att se.

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

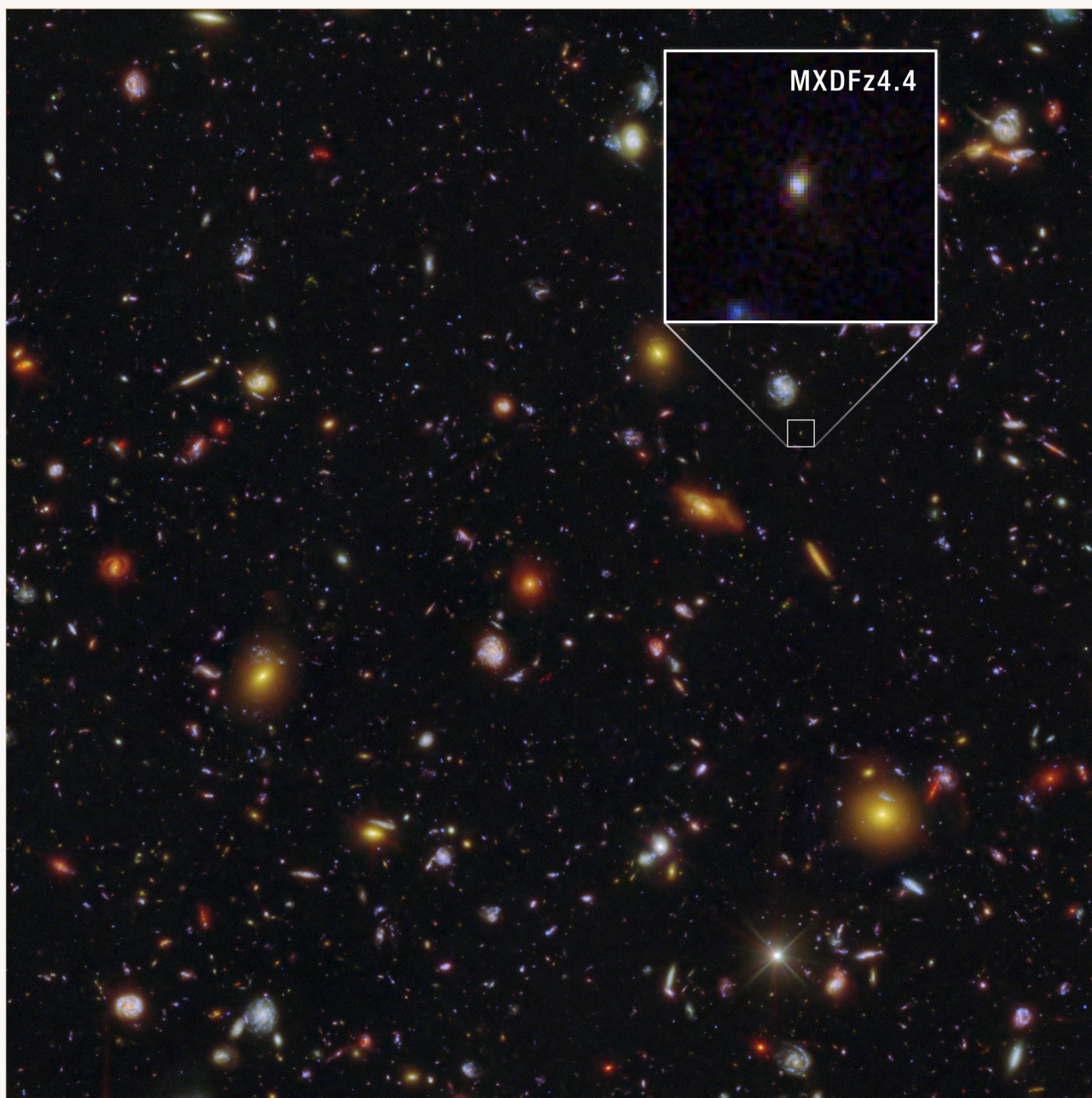
Paper: MXDFz4.4: A LyC emitter 250 Myr after the epoch of reionization and a first test of Lyman-alpha morphology as a tracer of LyC escape at high redshift, Ilias Goovaerts, Marc Rafelski, Alexander Beckett, Grecco Oyarzun, Annalisa Citro, Farhanul Hasan, Kalina V. Nedkova, Calum Hawcroft, Anton M.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

Ljuset som skingrade dimman

Under sina första flera hundra miljoner år var universum ogenomskinligt. Rymden var fylld av neutral vätgas — atomer som fortfarande hade kvar sina elektroner — och neutral vätgas är mycket bra på att absorbera ultraviolett ljus. Sedan, under de följande ungefär en miljard åren, fyllde något kosmos med tillräckligt mycket ultraviolett ljus för att slita loss elektronerna igen, jonisera vätet och låta ljuset färdas fritt. Astronomer kallar detta återjoniseringsepoken, och de främsta misstänkta är de första galaxerna: de heta, kortlivade stjärnorna i dem strålar ut joniserande ultraviolett ljus, och om tillräckligt mycket av det tog sig ut i den intergalaktiska rymden kan de ha åstadkommit det.

Problemet ligger i uttrycket *tog sig ut*. Det mesta av en galax joniserande ljus kommer aldrig ut — det absorberas av samma väte inne i galaxen som stjärnorna försöker jonisera. Bara en viss andel läcker ut i rymden, och den andelen, *flyktfraktionen*, är det enskilt svåraste talet att fastställa i hela berättelsen. Än värre är att det läckande ljuset är nästan omöjligt att fånga under själva återjoniseringen: den intergalaktiska dimma som ljuset bidrar till att skingra absorberar det långt innan det når oss. För att studera läckaget måste astronomerna därför blicka mot tiden strax *efter* att dimman lättade, på galaxer som ligger tillräckligt nära epoken för att kunna representera den.

Ett forskarlag lett av Ilias Goovaerts har nu fångat detta läckage ungefär så långt tillbaka i tiden som det någonsin har observerats. Med hjälp av djupavbildning från Hubble och JWST rapporterar de om en enda ljussvag galax — katalogiserad som MXDFz4.4 — vars utläckande joniserande ultraviolette ljus syns som en svag fläck i ett Hubble-filter. Galaxen befinner sig vid rödförskjutning 4.442, ungefär 250 miljoner år efter att återjoniseringen upphörde: den mest avlägsna direktdetekterade ”läckaren” hittills.



MXDFz4.4 (förstorad i den infällda bilden) är en svag fläck i detta djupfält från Hubble och JWST — den mest avlägsna galax där utläckande joniserande ultraviolett ljus hittills har fångats direkt, sedd ungefär 250 miljoner år efter att den kosmiska återjoniseringen upphörde.

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

Det tal från studien som kommer att få störst spridning är flykttfraktionen, och den är hög — någonstans mellan hälften och allt av galaxens joniserande ljus. Talet är reellt, men det finns skäl att vara noga med vad ”reellt” betyder här. Det mättes inte direkt i bilden; det rekonstruerades genom en kedja av modeller, och dess breda intervall har en saklig förklaring. Den mer användbara berättelsen har två delar: vad ett enda observerat läckage kan och inte kan säga oss, och ett stillsammare andra resultat — det första försöket så här långt tillbaka i tiden att pröva ett indirekt sätt att upptäcka läckaget, inför den dag då den direkta metoden slutar fungera.

Vad en "flyktfraktion" är och varför den är så svår att få grepp om

Stjärnor — särskilt de största, hetaste och yngsta — avger ultraviolett ljus med tillräckligt hög energi för att slå loss elektroner från väteatomer. Astronomer kallar detta joniserande strålning eller, vid de specifika våglängder det gäller, *Lymankontinuumljus*. Det är återjoniseringsens valuta: universum blev genomskinligt när tillräckligt många av dessa fotoner släpptes fria för att hålla det intergalaktiska vätet joniserat.

Men en galax är också full av väte. En stor del av det joniserande ljus som en galax producerar absorberas innan det någonsin lämnar den — det förbrukas på att jonisera galaxens egen gas. *Flyktfraktionen* är den andel som tar sig ut i den intergalaktiska rymden, där den faktiskt kan bidra till att återjonisera universum i stort. Den är kärnan i hela frågan och är svår att mäta av två skäl.

För det första är det intergalaktiska mediet under återjoniseringen fortfarande fullt av neutralt väte, som absorberar just det ljus man försöker detektera — därför når det utläckande ljuset vanligen aldrig fram till oss. För det andra måste man, även när en del av ljuset *går* att se (strax efter epoken, längs en ovanligt klar siktlinje), dividera det observerade med vad galaxen producerade för att omvandla detektionen till en flyktfraktion — och inte heller det som producerades kan observeras direkt. Det måste modelleras: utifrån galaxens övriga ljus, dess skattade stjärnbildningshistoria och antaganden om själva stjärnorna.

Det är därför flyktfraktioner har stora felmarginaler och därför samma detektion — när även den intergalaktiska absorptionen måste modelleras — kan ge stöd åt ett brett spann av svar. Talet är en rekonstruktion, inte en avläsning.

Vad författarna gjorde

- Bekräftade galaxens avstånd med djupspektroskopi från MUSE-instrumentet på VLT, som registrerade en enda emissionslinje — Lyman-alfa — med den asymmetriska profil som är typisk för linjen vid hög rödförskjutning och därmed fastställde rödförskjutningen till $z = 4.442$. De beräknade sannolikheten för en slumpmässig linjering med ett förgrundsobjekt till 0.0076%.
- Detekterade det utläckande joniserande ljuset (Lymankontinuum) i en djup Hubble-bild tagen med F435W — det filter som vid denna rödförskjutning enbart ser ljus under 912 ångström, alltså det ljus som räknas som "utläckt". Detektionen ligger på $5.2\text{--}5.3\sigma$ (sigma anger hur långt en signal ligger över det förväntade bruset; 5σ är en mycket strikt statistisk tröskel, inte ett bevis för att tolkningen är sann — guide) och dubbelkontrollerades mot flödet i en miljon tomma områden på himlen för att säkerställa att den inte var brus.
- Uteslöt den klassiska fallgropen för den här sortens påstående — att det "utläckande" ljuset i själva verket kommer från en galax med låg rödförskjutning som av en slump ligger framför — med hjälp av källans upplösta form och en specialanpassad separering av en ljussvag granngalax.
- Modellerade galaxens stjärnor genom att anpassa hela dess färgprofil från Hubble och JWST (med CIGALE-koden och flera modeller för stjärnpopulationer), vilket pekade på ett utbrott av stjärnbildning för några miljoner år sedan.
- Modellerade hur mycket joniserande ljus det intergalaktiska mediet skulle ha absorberat på vägen, över 10,000 simulerade siktlinjer, och kombinerade allt för att härleda flyktfraktionen.

- Prövade, för första gången så här långt tillbaka i tiden, ett *indirekt* sätt att upptäcka läckaget — Lyman-alfa-linjens form och utbredning (dess ”halofraktion”) — mot den direkta detektionen.

Vad de fann

- Den hittills mest avlägsna direktdetekterade källan till Lymankontinuum, vid $z = 4.442$.
- En reell detektion av själva det utläckande joniserande ljuset — inte en slutledning, utan en signal i bilden på $5.2\text{--}5.3\sigma$.
- En hög flyktfraktion, i intervallet 50–100% beroende på antagandena — stor, men modellberoende. (En separat *relativ* skattning är ännu högre, över 100%. Det är en egenhet i hur den definieras — den jämför det utläckande joniserande ljuset med galaxens ultravioletta ljus utan att först korrigera för stoft — inte ett tecken på att mer ljus kommer ut än stjärnorna faktiskt producerar.)
- Belägg i det anpassade stjärnljuset för att ett nyligt utbrott av stjärnbildning driver både produktionen och utläckaget av det joniserande ljuset.
- ”Försiktigt stöd”, med författarnas ord, för att använda Lyman-alfa-linjens form som indikator på läckage vid hög rödförskjutning.

Vad detta inte bevisar

- Det identifierar **inte** ”galaxerna som återjoniserade universum”. Det här är en enda galax, och den befinner sig ungefär 250 miljoner år *efter* att återjoniseringen upphörde, inte under den. Den är ett steg på vägen mot epoken, inte en bild av själva skeendet.
- Flyktfraktionen är **inte** en mätning. Den rekonstrueras genom att det observerade ljuset divideras med en *modellerad* uppskattning av det producerade ljuset och sedan korrigeras för en *modellerad* mängd intergalaktisk absorption — och författarna väljer medvetet en gynnsam siktlinje, eftersom en galax vars utläckande ljus över huvud taget når oss måste ligga i en klarare riktning än genomsnittet. Det breda intervallet (50–100%, och högre i relativa termer) är det uppriktiga uttrycket för detta modellberoende.
- Det validerar **inte** den nya Lyman-alfa-indikatorn. ”Försiktigt stöd” från ett enda objekt är ett första test, inte en bekräftelse.
- Det fastslår **inte** på egen hand att stötvis stjärnbildning drev återjoniseringen. Det är en rimlig tolkning som bygger på en enda galax och analysen av indikatorn, inte en belagd lag.

Hur starka är beläggen

- **Starka** där de är direkta: rödförskjutningen (en Lyman-alfa-linje med karakteristisk form och 0.0076% sannolikhet för förgrundskontaminering) och detektionen av det utläckande ljuset ($5.2\text{--}5.3\sigma$, kontrollerad mot en miljon tomma aperturer, med förgrundsobjektfällan — det som tidigare

har kullkastat påståenden om läckage vid hög rödförskjutning — noggrant undanröjd).

- **Svagare, och öppet redovisade som sådana, där de är modellerade:** flyktfraktionens *värde* (som beror på stjärnmodellen och den valda intergalaktiska siktlinjen), återjoniseringens ”betydelse” (ett objekt plus en tolkning) och den nya indikatorn (ett första, försiktigt test).
- Studiens uppriktighet finns i intervallen. Den redovisar spann i stället för enskilda tal, kallar stödet för indikatorn ”försiktigt” och avstår till och med från att lita på en av sina egna skattningar av den intergalaktiska transmissionen. Det här är en noggrann studie som inte överdriver sina resultat; risken för överdrifter finns helt och hållet utanför den.

Varför det spelar roll

Direkta detektioner av utläckande joniserande ljus har nu förts ungefär så nära återjoniseringsepo-ken som det går — till gränsen där ljuset fortfarande, med knapp marginal, tar sig igenom. Det har ett värde i sig. Men det stillsammare resultatet kan vara viktigare: när man väl befinner sig *inne i* återjoniseringen fungerar den direkta metoden inte alls, och allt vilar på indirekta indikatorer som kalibrerats på närmare, mer lättstuderade galaxer. Att pröva en av dessa indikatorer här, där den fortfarande kan kontrolleras mot en verklig detektion, är vad som krävs för att man senare ska kunna lita på den, där en sådan kontroll inte går att göra. Värdet av MXDFz4.4 ligger mindre i ”vi har hittat en galax som återjoniserade universum” och mer i ”vi lär oss att läsa av läckaget och börjar kontrollera våra instrument inför mörkret”.

Ren sammanfattning

Astronomer som använde Hubble och JWST har direktdetekterat joniserande ultraviolett ljus som läcker ut från en enda galax vid rödförskjutning 4.442 — den mest avlägsna detektionen av detta slag hittills, ungefär 250 miljoner år efter att den kosmiska återjoniseringen upphörde. Själva detektionen är robust. Den ofta citerade flyktfraktionen på 50–100% är inte uppmätt utan rekonstruerad, genom modeller av galaxens stjärnor och av intergalaktisk absorption längs en medvetet gynnsam siktlinje, vilket förklarar det breda intervallet. Parallellt med detektionen genomförde forskarlaget det första testet vid hög rödförskjutning av ett indirekt sätt att upptäcka utläckande ljus — Lyman-alfa-linjens form — och fann ”försiktigt stöd” för metoden. Det är ett noggrant resultat från ett enda objekt: ett verkligt fångat läckage, ett uppriktigt osäkert tal kopplat till det och ett första steg mot de verktyg astronomerna kommer att behöva när läckaget inte längre alls går att se.

Kontroll utan omsvep

Vad studien visar: En direkt detektion på $5.2\text{--}5.3\sigma$ av utläckande joniserande ljus (Lymankontinuum) från en galax vid $z = 4.442$ — den hittills högsta rödförskjutningen för en sådan detektion — där risken för förgrundskontaminering noggrant har uteslutits.

Vad som är rimligt men inte bevisat: Att galaxens flyktfraktion är 50–100%. Detektionen är reell; fraktionen rekonstrueras genom modeller av stjärnpopulationer och intergalaktisk absorption (längs en gynnsam siktlinje), vilket är skälet till det breda intervallet. Också rimligt men obevisat: att Lyman-alfa-linjens form fungerar som indikator på läckage så här långt tillbaka i tiden — studien ger ”försiktigt stöd” från ett enda objekt.

Vad den inte visar: Att detta är en galax ”som återjoniserade universum” (den befinner sig efter epoken och är ett enda objekt) eller att stötvis stjärnbildning drev återjoniseringen (en tolkning, inte ett belägg).

Huvudsakliga begränsningar: Ett urval på ett enda objekt; en flyktfraktion som beror på modellval och en medvetet klar siktlinje; ett första, försiktigt test av den nya indikatorn; samt den extrema svårigheten att studera utläckande joniserande ljus så nära den epok där det blir osynligt.

Hur stort förtroende bör en allmän läsare ha? Stort för att det utläckande ljuset verkligen detekterades och att detta är den mest avlägsna detektionen av sitt slag hittills. Lågt till måttligt för den exakta flyktfraktionen — betrakta ”50–100%” som ett modellerat intervall, inte en mätning. Måttligt för den nya indikatorn: en lovande första kontroll, inte ett etablerat verktyg.

Sources

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>