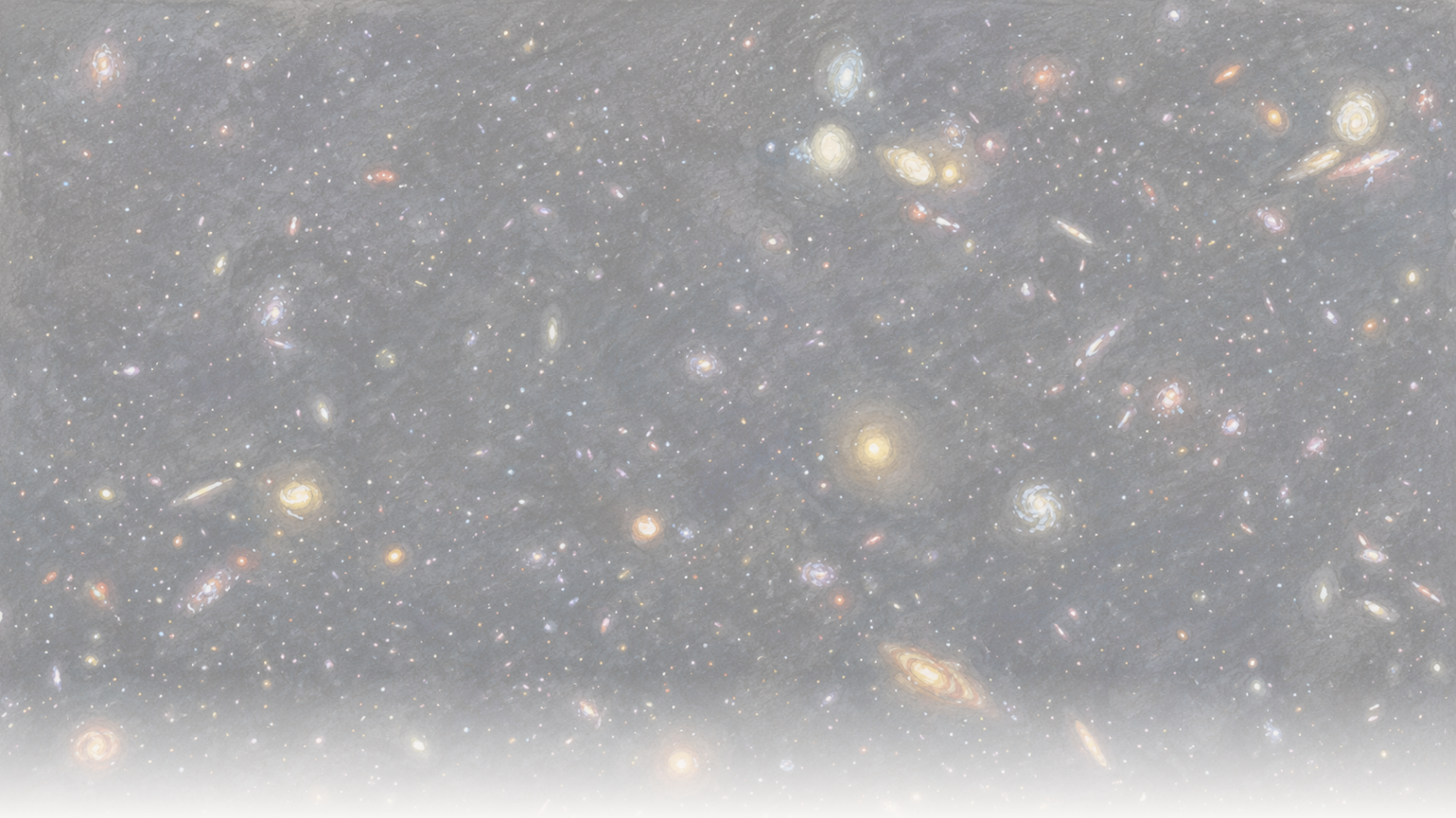


The Clean Paper

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

Galaktika më e largët ku është kapur rrjedhja e dritës jonizuese

Astronomët përdorën JWST dhe Hubble për të kapur ultravioletin jonizues që arratiset nga një galaktikë e vetme rreth 250 milionë vjet pas rejonizimit kozmik — "rrjedhja" më e largët e parë drejtpërdrejt. Fraksioni 50–100% është rezultat real i analizës, por rindërtohet përmes modeleve dhe nuk është matje direkte; rezultati më i qetë është testi i parë në redshift të lartë i një mënyre indirekte për ta dalluar rrjedhjen kur ajo nuk mund të shihet më.

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

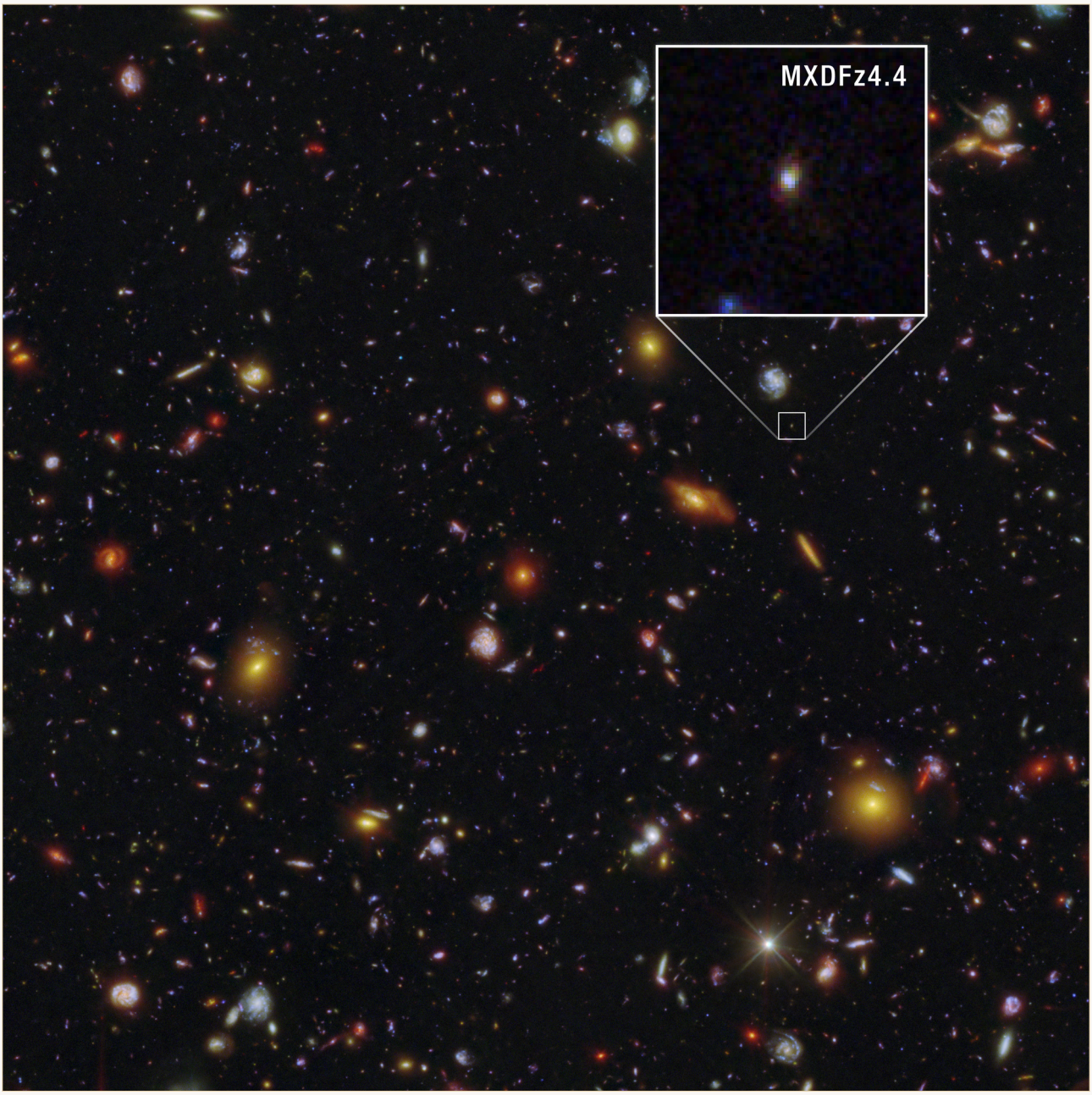
Paper: *MXDFz4.4: A LyC emitter 250 Myr after the epoch of reionization and a first test of Lyman-alpha morphology as a tracer of LyC escape at high redshift*, Ilias Goovaerts, Marc Rafelski, Alexander Beckett, Grecco Oyarzun, Annalisa Citro, Farhanul Hasan, Kalina V. Nedkova, Calum Hawcroft, Anton M.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

Drita që pastroi mjegullën

Për disa qindra milionë vitet e para universi ishte opak. Hapësira ishte e mbushur me hidrogjen neutral — atome me elektronet ende të lidhura — dhe hidrogjeni neutral e përthith shumë mirë ultravioletin *jonizues*: dritën me gjatësi vale nën 912 ångström (kufiri *Lyman*), me energji të mjaftueshme për t'i hequr elektronin një atomi hidrogjeni. Jo çdo ultraviolet e bën këtë — ultravioleti me gjatësi vale më të madhe nuk përthithet njësoj dhe e shohim shpesh nga galaktikat e hershme — ndaj pikërisht kjo dritë jonizuese ishte ajo që universi i ri e bllokonte. Pastaj, gjatë afërsisht miliardit të ardhshëm të viteve, diçka e mbushi kozmosin me mjaft nga kjo dritë sa t'i hiqte përsëri elektronet, duke jonizuar hidrogjenin dhe duke lejuar dritën të udhëtonte lirshëm. Astronomët e quajnë epoka e rejonizimit dhe të dyshuarit kryesorë janë galaktikat e para: yjet e tyre të nxehtë e jetëshkurtër prodhojnë shumë ultraviolet jonizues dhe, nëse mjaft prej tij dilte në hapësirën ndërgalaktike, mund ta kishin bërë punën.

Problemi është fjala *dilte*. Shumica e dritës jonizuese të një galaktike nuk arrin kurrë të dalë — përthithet nga vetë hidrogjeni brenda galaktikës. Vetëm një pjesë rrjedh në hapësirë dhe kjo pjesë, *fraksioni i arratisjes*, është një nga numrat më të vështirë të gjithë historisë. Edhe më keq, gjatë vetë rejonizimit drita që ikën është pothuajse e pamundur të kapet: mjegulla ndërgalaktike që ajo ndihmon të pastrohet e përthith shumë përpara se të arrijë te ne. Prandaj astronomët duhet të shohin pak *pas* mbarimit të mjegullës, te galaktika mjaft afër epokës që të shërbejnë si zëvendësuese.

Një ekip i udhëhequr nga Ilias Goovaerts e ka kapur tani këtë rrjedhje pothuajse aq larg në kohë sa është parë ndonjëherë. Duke përdorur imazhe të thella nga Hubble dhe JWST, ata raportojnë një galaktikë të vetme e të zbehtë — MXDFz4.4 — ku ultravioleti jonizues që arratiset shfaqet si një njollë drite në një filtër Hubble. Galaktika është në redshift 4.442, rreth 250 milionë vjet pas përfundimit të rejonizimit: "rrjedhësi" më i largët i zbuluar drejtpërdrejt deri tani.



MXDFz4.4 (e zmadhuar në inset) është një njollë e zbehtë në këtë fushë të thellë Hubble/JWST — galaktika më e largët ku është kapur drejtpërdrejt rrjedhja e ultravioletit jonizues, rreth 250 milionë vjet pas mbarimit të rejonizimit kozmik.

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

Numri që ka më shumë gjasa të qarkullojë nga ky punim është fraksioni i arratisjes, dhe është i lartë — diku mes gjysmës dhe gjithë dritës jonizuese të galaktikës. Numri është real si rezultat modelimi, por duhet kujdes me kuptimin e “real”. Nuk u lexua drejtpërdrejt nga imazhi; u rindërtua përmes një zinxhiri modelesh dhe intervali i gjerë është i ndershëm. Historia më e dobishme ka dy pjesë: çfarë mund e nuk mund të tregojë një rrjedhje e vetme e kapur, dhe një rezultat i dytë më i qetë — përpjekja e parë kaq larg në kohë për të kontrolluar një mënyrë indirekte të dallimit të rrjedhjes, para se metoda direkte të bëhet e pamundur.

Çfarë është "fraksioni i arratisjes" dhe pse është kaq i vështirë

Yjet — veçanërisht më të mëdhenjtë, më të nxehtët e më të rinjtë — lëshojnë ultraviolet me energji të mjaftueshme për t'i hequr elektronin hidrogjenit. Astronomët e quajnë rrezatim jonizues, ose në këto gjatësi vale dritë të *kontinuumit Lyman*. Është "monedha" e rejonizimit: universi u bë transparent kur mjaft nga këto fotone u liruan për ta mbajtur hidrogjenin ndërgalaktik të jonizuar.

Por edhe një galaktikë është plot me hidrogjen. Shumë nga drita jonizuese që prodhon përthithet para se të dalë, duke jonizuar gazin e vet. *Fraksioni i arratisjes* është pjesa që del në hapësirën ndërgalaktike, ku mund të ndihmojë realisht rejonizimin e universit më të gjerë. Është nyja e pyetjes dhe është e vështirë për dy arsye.

Së pari, gjatë rejonizimit mjedisi ndërgalaktik ka ende shumë hidrogjen neutral që përthith pikërisht dritën që po përpiqesh të zbulosh, kështu që rrjedhja zakonisht nuk arrin fare te ne. Së dyti, edhe kur *mund* të shohësh një pjesë të saj, kthimi i sinjalit në fraksion arratisjeje kërkon ta pjesëtosh atë që vëzhgon me atë që galaktika prodhoi — dhe as prodhimin e brendshëm nuk e shohim drejtpërdrejt. Duhet ta modelosh nga drita tjetër e galaktikës, historia e nxjerrë e formimit yjor dhe supozimet për yjet.

Prandaj fraksionet e arratisjes kanë pasiguri të gjera dhe, kur duhet modeluar edhe përthithja ndërgalaktike, i njëjti zbulim mund të mbështesë një gamë të madhe vlerash. Numri është rindërtim, jo lexim i drejtpërdrejtë.

Çfarë bënë autorët

- Konfirmuan largësinë me spektroskopi të thellë nga MUSE në VLT, që kapi një vijë emisioni — Lyman-alpha — me profilin asimetrik tipik në redshift të lartë, duke fiksuar z = 4.442. Probabilitetin e një përputhjeje të rastësishme me objekt të planit të parë e vlerësuan 0.0076%.
- Zbuluan dritën jonizuese që arratiset (kontinuumi Lyman) në një imazh të thellë Hubble F435W — filtri që në këtë redshift sheh vetëm dritën nën 912 ångström që llogaritet si "e arratisur". Zbulimi është në 5.2–5.3σ (sigma mat sa larg mbi zhurmën e pritshme qëndron një sinjal; 5σ është një prag statistikor shumë i rreptë, jo provë se interpretimi është i vërtetë — udhëzues), dhe u kontrollua kundrejt fluksit në një milion zona bosh të qiellit për t'u siguruar se nuk ishte zhurmë.
- Përjashtuan kurthin klasik: që drita "e arratisur" të ishte në fakt një galaktikë me redshift të ulët e vendosur rastësisht përpara, duke përdorur formën e zgjidhur të burimit dhe de-blending të personalizuar të një fqinji të zbehtë.
- Modeluan yjet e galaktikës duke përshtatur të gjitha ngjyrat Hubble+JWST me CIGALE dhe disa modele popullatash yjore; rezultatet tregojnë një shpërthim të fundit formimi yjor disa milionë vjet më parë.
- Modeluan sa dritë jonizuese do të kishte përthithur mjedisi ndërgalaktik gjatë rrugës, me 10,000 vija shikimi të simuluara, dhe prej gjithë zinxhirit nxorën fraksionin e arratisjes.
- Testuan, për herë të parë kaq larg, një mënyrë *indirekte* për të dalluar arratisjen — formën dhe shtrirjen e vijës Lyman-alpha ("halo fraction") — kundrejt zbulimit direkt.

Çfarë gjetën

- Emetuesin më të largët të kontinuumit Lyman të zbuluar drejtpërdrejt deri tani, në z = 4.442.
- Një zbulim real të vetë dritës jonizuese që arratiset — jo thjesht inferencë, por sinjal në imazh në 5.2–5.3σ.
- Një fraksion të lartë arratisjeje, 50–100%, në varësi të supozimeve — i madh, por i varur nga modeli. (Një vlerësim *relativ* shkon edhe mbi 100%; kjo vjen nga përkufizimi, që krahason dritën jonizuese që del me UV-në e galaktikës pa korrigjuar fillimisht pluhurin, jo nga prodhimi i më shumë drite se sa krijojnë yjet.)
- Prova nga përshtatja e dritës yjore se një shpërthim i fundit formimi yjor po nxit si prodhimin, ashtu edhe arratisjen e dritës jonizuese.
- "Mbështetje të kujdesshme", sipas autorëve, për përdorimin e formës së vijës Lyman-alpha si tregues të arratisjes në redshift të lartë.

Çfarë nuk provon kjo

- Nuk identifikon "galaktikat që rejonizuan universin". Është një galaktikë e vetme dhe rreth 250 milionë vjet *pas* përfundimit të rejonizimit, jo gjatë tij. Është një hap drejt epokës, jo fotografi e ngjarjes.
- Fraksioni i arratisjes **nuk është matje direkte**. Rindërtohet duke pjesëtuar dritën e vëzhguar me një vlerësim *të modeluar* të dritës së prodhuar dhe duke korrigjuar për një sasi *të modeluar* përthithjeje ndërgalaktike. Autorët zgjedhin qëllimisht një vijë shikimi të favorshme, sepse një galaktikë drita e së cilës arrin te ne duhet të jetë në drejtim më të pastër se mesatarja. Intervali 50–100% është shenjë e ndershme e kësaj varësie nga modeli.
- Nuk e validon përfundimisht treguesin e ri Lyman-alpha. "Mbështetje e kujdesshme" nga një objekt i vetëm është test i parë, jo konfirmim.
- Nuk vërteton, më vete, se formimi yjor me shpërthime drejtoi rejonizimin. Është interpretim i arsyeshëm nga një galaktikë plus analiza e treguesit, jo ligj i demonstruar.

Sa e fortë është prova?

- **E fortë** aty ku është direkte: redshift-i (vijë Lyman-alpha me formë karakteristike dhe vetëm 0.0076% shans për ndotje nga plan i parë) dhe zbulimi i dritës që del (5.2–5.3σ, kontrolluar me një milion hapje bosh dhe me kurthin e objektit të planit të parë të mbyllur me kujdes).
- **Më e dobët, dhe hapur e tillë,** aty ku modelohet: *vlera* e fraksionit të arratisjes, rëndësia për rejonizimin dhe treguesi i ri. Të tre mbështeten në model ose në një objekt të vetëm.
- Ndershmëria e punimit shihet te intervalet. Raporton gama, e quan mbështetjen për treguesin "të kujdesshme" dhe madje nuk i beson njërit prej vlerësimeve të veta të transmetimit ndërgalaktik. Punimi nuk e shet tepër veten; rreziku i hype-it është jashtë tij.

Pse ka rëndësi

Zbulimet direkte të dritës jonizuese që arratiset janë shtyrë pothuajse aq pranë epokës së rejonizimit sa lejon vetë fizika — deri në skajin ku drita ende, me vështirësi, kalon. Kjo ka vlerë vetë. Por rezultati më i qetë mund të ketë më shumë rëndësi: sapo futesh *brenda* rejonizimit, metoda direkte dështon plotësisht dhe gjithçka mbështetet te tregues indirektë të kalibruar në galaktika më të afërta e më të lehta. Testimi i një treguesi këtu, ku ende mund ta kontrollosh kundrejt një zbulimi real, është mënyra për të fituar besim tek ai më vonë, kur kontrolli direkt nuk është më i mundur. Vlera e MXDFz4.4 është më pak "gjetëm një galaktikë që rejonizoi universin" dhe më shumë "po mësojmë të lexojmë rrjedhjen dhe po fillojmë të kalibrojmë mjetet për errësirën".

Përmbledhje e shkurtër

Astronomët me Hubble dhe JWST kanë zbuluar drejtpërdrejt ultravioletin jonizues që arratiset nga një galaktikë në redshift 4.442 — zbulimi më i largët i këtij lloji, rreth 250 milionë vjet pas mbarimit të rejonizimit. Vetë zbulimi është solid. Fraksioni i cituar shpesh 50–100% nuk është matur drejtpërdrejt, por rindërtuar përmes modeleve të yjeve të galaktikës dhe përthithjes ndërgalaktike përgjatë një vije shikimi që qëllimisht merret e favorshme, prandaj intervali është kaq i gjerë. Krahas zbulimit, ekipi bëri testin e parë në redshift kaq të lartë të një mënyre indirekte për të dalluar rrjedhjen — formën e vijës Lyman-alpha — dhe gjeti "mbështetje të kujdesshme". Është rezultat i kujdesshëm me një objekt: një kapje reale e rrjedhjes, një numër me pasiguri të ndershme dhe një hap i parë drejt mjeteve që astronomëve do t'u duhen kur rrjedhja të mos mund të shihet fare.

Kontroll pa teprime

Çfarë tregon punimi: Zbulim direkt 5.2–5.3σ të dritës jonizuese (Lyman-continuum) që arratiset nga një galaktikë në z = 4.442 — zbulimi me redshift më të lartë deri tani — me ndotjen nga plan i parë të përjashtuar me kujdes.

Çfarë është e besueshme, por jo e provuar: Që fraksioni i arratisjes është 50–100%. Zbulimi është real; fraksioni rindërtohet nga modele të popullatës yjore dhe përthithjes ndërgalaktike përgjatë një vije të favorshme, prandaj është interval i gjerë. Po ashtu e besueshme por e pakonfirmuar: forma Lyman-alpha funksionon si tregues arratisjeje kaq larg — punimi jep vetëm "mbështetje të kujdesshme" nga një objekt.

Çfarë nuk tregon: Që kjo është një galaktikë "që rejonizoi universin" — ndodhet pas epokës dhe është vetëm një objekt — ose se formimi yjor me shpërthime e drejtoi rejonizimin.

Kufizimet kryesore: Kampion prej një objekti; fraksion i varur nga modele dhe nga një vijë shikimi e zgjedhur e pastër; test i parë i treguesit të ri; dhe vështirësia themelore e studimit të dritës jonizuese aq pranë epokës ku bëhet e padukshme.

Sa besim duhet të ketë një lexues i përgjithshëm? Të lartë se drita që arratiset është zbuluar vërtet dhe se ky është zbulimi më i largët i këtij lloji. Të ulët-mesatar për vlerën e saktë 50–100% — trajtojeni si interval të modeluar, jo matje. Mesatar për treguesin e ri: kontroll i parë premtues, jo mjet i vendosur.

Përditësime pas botimit

- **Korrigjim · 2026-07-28**

  Pas komenteve nga Ilias Goovaerts, një nga autorët e punimit, artikulli tani prezanton që në hyrje dritën jonizuese dhe jo ultravjollcën në përgjithësi, duke e bërë të qartë se vetëm ultravjollca me gjatësi vale të shkurtër — nën kufirin Lyman prej 912 ångström — është jonizuese, ndërsa ultravjollca me gjatësi vale më të madhe nuk është jonizuese dhe vëzhgohet rregullisht nga galaktikat me redshift të lartë.

Burimet

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