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

ყველაზე შორეული გალაქტიკა, საიდანაც მაიონებელი სინათლის გაჟონვა პირდაპირ დაიჭირეს

JWST-ისა და Hubble-ის დახმარებით ასტრონომებმა პირდაპირ დაინახეს ერთი გალაქტიკიდან გამოსული მაიონებელი ულტრაიისფერი დაახლოებით 250 მილიონი წლით კოსმოსური რეიონიზაციის დასრულების შემდეგ — დღემდე ყველაზე შორეული ასეთი „გაჟონვა“. სათაურისთვის მიმზიდველი 50–100%-იანი escape fraction რეალურ ანალიზს ეფუძნება, მაგრამ მოდელებით არის აღდგენილი და არა პირდაპირ გაზომილი; უფრო მშვიდი შედეგი კი მაღალი redshift-ის პირობებში პირველი ტესტია იმისა, როგორ უნდა ვიპოვოთ გაჟონვა მაშინ, როცა მისი პირდაპირ დანახვა უკვე შეუძლებელი გახდება.

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

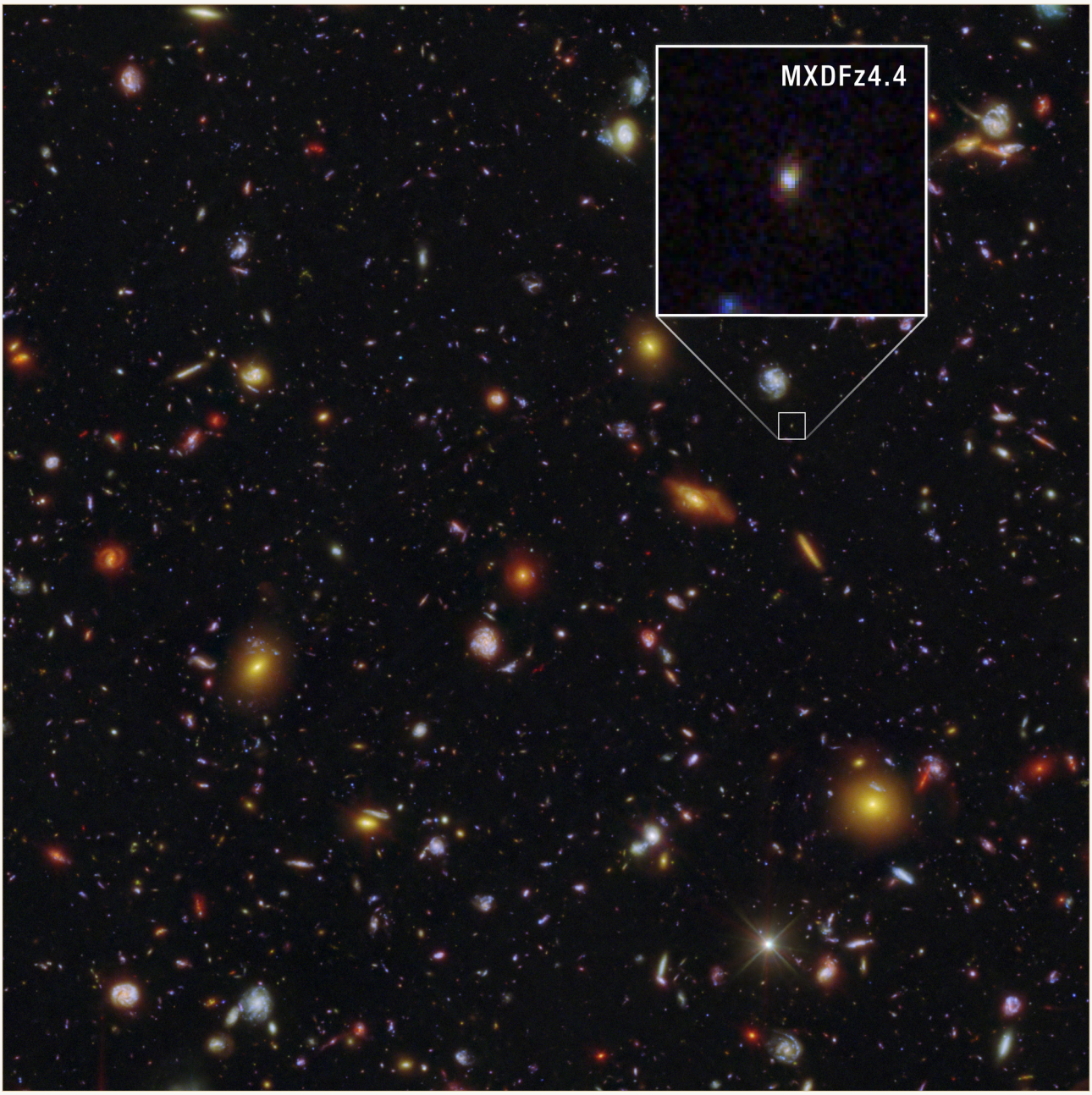
Paper: *MXDFz4.4: A LyC emitter 250 Myr after the epoch of reionization and a first test of Lyman-alpha morphology as a tracer of LyC escape at high redshift*, Ilias Goovaerts, Marc Rafelski, Alexander Beckett, Grecco Oyarzun, Annalisa Citro, Farhanul Hasan, Kalina V. Nedkova, Calum Hawcroft, Anton M.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

სინათლე, რომელმაც კოსმოსური ნისლი გაფანტა

თავისი არსებობის პირველი რამდენიმე ასეული მილიონი წლის განმავლობაში სამყარო გაუმჭვირვალე იყო. სივრცეს ნეიტრალური წყალბადი ავსებდა — ატომები, რომლებსაც ელექტრონები ჯერ კიდევ მიბმული ჰქონდათ — ხოლო ნეიტრალური წყალბადი ძალიან ეფექტურად შთანთქავს *მაიონებელ* ულტრაიისფერ სინათლეს: მოკლე ტალღის გამოსხივებას, 912 ანგსტრემზე ქვემოთ (ე.წ. *ლაიმანის ზღვარზე*), რომელსაც საკმარისი ენერგია აქვს წყალბადის ატომიდან ელექტრონის მოსაცილებლად. ყველა ულტრაიისფერი მაიონებელი არ არის — უფრო გრძელი ტალღის UV სხვაგვარად ურთიერთქმედებს და ადრეული გალაქტიკებიდან მას ხშირად ვხედავთ — ამიტომ ახალგაზრდა სამყაროში სწორედ მაიონებელი სინათლე იყო ჩაკეტილი. მომდევნო დაახლოებით მილიარდი წლის განმავლობაში რაღაცამ კოსმოსი იმდენი ასეთი ფოტონით აავსო, რომ წყალბადს ელექტრონები ისევ მოსწყდა, გაზი იონიზდა და სინათლემ თავისუფლად გადაადგილება დაიწყო. ასტრონომები ამ პერიოდს რეიონიზაციის ეპოქას უწოდებენ, ხოლო მთავარი ეჭვმიტანილები პირველი გალაქტიკებია: მათში არსებული ცხელი, მოკლეხნიანი ვარსკვლავები უხვად წარმოქმნიან მაიონებელ UV-ს და თუ ამ სინათლის საკმარისი ნაწილი გალაქტიკათშორის სივრცეში გავიდა, რეიონიზაციაც მათ შეეძლოთ გამოეწვიათ.

პრობლემა სიტყვა *გავიდაშია*. გალაქტიკის მიერ წარმოქმნილი მაიონებელი სინათლის დიდი ნაწილი შიგნიდანვე ვერ აღწევს გარეთ — მას ისევ იმავე გალაქტიკაში არსებული წყალბადი შთანთქავს. კოსმოსში მხოლოდ გარკვეული ნაწილი ჟონავს, და სწორედ ეს წილი — *თავის არიდება წილი*, ანუ გამოსვლის წილი — მთელი ისტორიის ერთ-ერთი ყველაზე ძნელად დასადგენი რიცხვია. უფრო მეტიც, თავად რეიონიზაციის დროს გაჟონილი სინათლის დაჭერა თითქმის შეუძლებელია: გალაქტიკათშორისი ნეიტრალური წყალბადის ნისლი, რომლის გაწმენდაშიც ეს სინათლე მონაწილეობს, გზაში შთანთქავს მას. ამიტომ ასტრონომები „გაჟონვას“ რეიონიზაციის დასრულების შემდეგ არსებულ, მაგრამ ამ ეპოქასთან ჯერ კიდევ ახლოს მდებარე გალაქტიკებში სწავლობენ.

Ilias Goovaerts-ის ხელმძღვანელობით გუნდმა ახლა ასეთი გაჟონვა თითქმის ყველაზე შორეულ მანძილზე დაიჭირა, სადაც ეს პირდაპირ საერთოდ შესაძლებელია. Hubble-ისა და JWST-ის ღრმა გამოსახულებებით მათ აღწერეს ერთი მკრთალი გალაქტიკა — MXDFz4.4 — რომლის გალაქტიკიდან გამოსული მაიონებელი ულტრაიისფერი Hubble-ის ერთ ფილტრში სინათლის პატარა ლაქად ჩანს. გალაქტიკა redshift 4.442-ზე მდებარეობს, დაახლოებით 250 მილიონი წლით რეიონიზაციის დასრულების შემდეგ. ეს დღემდე პირდაპირ აღმოჩენილი ყველაზე შორეული „leaker“-ია.



MXDFz4.4 (ჩასმულ ნაწილში გადიდებული) ამ ღრმა Hubble/JWST ველში მხოლოდ მკრთალი ლაქაა — ყველაზე შორეული გალაქტიკა, რომლის მაიონებელი ულტრაიისფერის გაჟონვაც პირდაპირ დაუფიქსირებიათ, დაახლოებით 250 მილიონი წლით კოსმოსური რეიონიზაციის დასრულების შემდეგ.

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

ამ ნაშრომიდან ყველაზე ხშირად გასავრცელებელი რიცხვი თავის არიდება წილი იქნება და ის მაღალია — გალაქტიკის მაიონებელი სინათლის დაახლოებით ნახევრიდან თითქმის მთელ რაოდენობამდე. ეს რიცხვი რეალურ ანალიზს ეფუძნება, მაგრამ მნიშვნელოვანია რას ნიშნავს აქ „რეალური“. ის გამოსახულებიდან პირდაპირ არ გაუზომავთ; იგი მოდელების ჯაჭვით აღადგინეს და ფართო დიაპაზონი სწორედ ამ გაურკვევლობის პატიოსანი გამოხატულებაა. უფრო სასარგებლო ამბავი ორ ნაწილად იყოფა: რას გვეტყვის და რას ვერ გვეტყვის ერთი პირდაპირ დაჭერილი გაჟონვა,

და მეორე, უფრო მშვიდი შედეგი — ამ მანძილზე პირველად შეამოწმეს გაჟონვის არაპირდაპირი ინდიკატორი იქ, სადაც პირდაპირი მეთოდი ჯერ კიდევ მუშაობს, ვიდრე უფრო შორეულ ეპოქაში შეუძლებელი გახდება.

რას ნიშნავს „თავის არიდება წილი“ და რატომ არის მისი განსაზღვრა ასეთი რთული?

ვარსკვლავები — განსაკუთრებით ყველაზე დიდი, ცხელი და ახალგაზრდა — გამოსცემენ იმდენად ენერგიულ ულტრაიისფერს, რომ წყალბადის ატომებიდან ელექტრონების მოცილება შეუძლია. ასტრონომები მას მაიონებელ გამოსხივებას, ხოლო შესაბამის ტალღებზე *Lyman-continuum* სინათლეს უწოდებენ. სწორედ ეს ფოტონებია რეიონიზაციის „ვალუტა“: სამყარო გამჭვირვალე გახდა, როცა მათმა საკმარისმა რაოდენობამ გალაქტიკათშორისი წყალბადი იონიზებულ მდგომარეობაში შეინარჩუნა.

მაგრამ თავად გალაქტიკაც სავსეა წყალბადით. მაიონებელი სინათლის დიდი ნაწილი გარეთ გასვლამდე შიგნითვე შთაინთქმება და გალაქტიკის საკუთარ გაზს იონიზებს. *თავის არიდება წილი* არის ის წილი, რომელიც გალაქტიკათშორის სივრცეში აღწევს და ამიტომ უფრო ფართო სამყაროს რეიონიზაციაში მონაწილეობა შეუძლია. ეს მთელი საკითხის ცენტრალური რიცხვია და მისი გაზომვა ორი მიზეზით რთულია.

პირველი: რეიონიზაციის დროს გალაქტიკათშორის გარემოში ჯერ კიდევ ბევრია ნეიტრალური წყალბადი, რომელიც ზუსტად იმ სინათლეს შთანთქავს, რომლის დანახვაც გვსურს. ამიტომ გაჟონილი სინათლე ხშირად ჩვენამდე საერთოდ ვერ აღწევს. მეორე: მაშინაც კი, როცა მისი ნაწილის დანახვა შესაძლებელია — რეიონიზაციის შემდეგ და უჩვეულოდ გამჭვირვალე ხედვის ხაზზე — გამოსვლის წილის მისაღებად დაკვირვებული რაოდენობა უნდა გავყოთ იმაზე, რამდენი მაიონებელი სინათლე შექმნა გალაქტიკამ. ეს საწყისი რაოდენობაც პირდაპირ არ ჩანს. ის უნდა მოდელირდეს გალაქტიკის სხვა სინათლის, აღდგენილი ვარსკვლავთწარმოქმნის ისტორიისა და ვარსკვლავური პოპულაციის შესახებ დაშვებების მიხედვით.

ამიტომ თავის არიდება fraction-ს ფართო გაურკვევლობები ახლავს. როცა გალაქტიკათშორისი შთანთქმაც უნდა მოდელირდეს, ერთსა და იმავე პირდაპირ აღმოჩენას პასუხების საკმაოდ ფართო დიაპაზონი შეიძლება შეესაბამებოდეს. ეს რიცხვი რეკონსტრუქციაა და არა ხელსაწყოზე პირდაპირ წაკითხული მნიშვნელობა.

რა გააკეთეს ავტორებმა

- გალაქტიკის მანძილი VLT-ის MUSE ინსტრუმენტის ღრმა სპექტროსკოპიით დაადასტურეს. მათ დაინახეს ერთი ემისიური ხაზი — Lyman-alpha — მაღალი redshift-ისთვის დამახასიათებელი ასიმეტრიული პროფილით, რამაც redshift z = 4.442-ზე დააფიქსირა. შემთხვევით წინა პლანზე მდებარე ობიექტთან დამთხვევის

ალბათობა ავტორებმა 0.0076%-ად შეაფასეს.

- გალაქტიკიდან გამოსული მაიონებელი (Lyman-continuum) სინათლე Hubble-ის ღრმა F435W გამოსახულებაში აღმოაჩინეს — ამ redshift-ზე ეს ფილტრი სწორედ 912 ანგსტრემზე ქვემოთ არსებულ, გალაქტიკიდან გამოსულ სინათლეს ხედავს. სიგნალი 5.2–5.3σ დონეზეა (sigma აჩვენებს რამდენად მაღლა დგას სიგნალი მოსალოდნელ ხმაურზე; 5σ მკაცრი სტატისტიკური ზღვარია, მაგრამ ინტერპრეტაციის ჭეშმარიტებას თავისთავად არ ამტკიცებს — გზამკვლევი). შედეგი შეადარეს მილიონ ცარიელ ცის აპერტურას, რათა უბრალო ხმაური გამოერიცხათ.
- სპეციალურად შეამოწმეს ამ ტიპის დაკვირვების კლასიკური ხაფანგი — რომ „გაჟონილი“ სინათლე სინამდვილეში შემთხვევით წინ მდებარე დაბალი redshift-ის გალაქტიკას ეკუთვნის — და წყაროს გარჩევადი ფორმისა და მეზობელი მკრთალი ობიექტის ინდივიდუალური de-blending-ის საშუალებით ეს ახსნა გამორიცხეს.
- Hubble-ისა და JWST-ის მთლიანი ფერადი ფოტომეტრიის გამოყენებით გალაქტიკის ვარსკვლავური პოპულაცია მოდელირეს (CIGALE კოდით და რამდენიმე stellar-population მოდელით). შედეგი რამდენიმე მილიონი წლის წინანდელ ახლახან მომხდარ ვარსკვლავთწარმოქმნის ძლიერ ეპიზოდზე მიუთითებდა.
- 10,000 სიმულირებულ ხედვის ხაზზე მოდელირეს, გზაში რამდენ მაიონებელ სინათლეს შთანთქავდა გალაქტიკათშორისი გარემო და ყველაფერი თავის არიდება fraction-ის გამოსათვლელად გააერთიანეს.
- პირველად ამ სიშორეზე პირდაპირ აღმოჩენას შეუდარეს გაჟონვის *არაპირდაპირ* მაჩვენებელს — Lyman-alpha ხაზის ფორმასა და სივრცით გავრცელებას („halo წილი“).

რა აღმოაჩინეს

- დღემდე პირდაპირ აღმოჩენილი ყველაზე მაღალი redshift-ის Lyman-continuum emitter, z = 4.442-ზე.
- თვითონ გალაქტიკიდან გამოსული მაიონებელი სინათლის რეალური პირდაპირი აღმოჩენა — არა მხოლოდ დასკვნა, არამედ 5.2–5.3σ სიგნალი გამოსახულებაში.
- მაღალი თავის არიდება წილი — დაშვებების მიხედვით დაახლოებით 50–100%. ეს დიდი მნიშვნელობაა, მაგრამ მოდელზე დამოკიდებული. (ცალკე გამოთვლილი *ფარდობითი* შეფასება 100%-საც აჭარბებს. ეს მისი განსაზღვრების თავისებურებაა — იგი გაქცეულ მაიონებელ სინათლეს გალაქტიკის UV-ს ადარებს მტვრით შესუსტების წინასწარი კორექციის გარეშე — და არ ნიშნავს, რომ ვარსკვლავების მიერ წარმოქმნილზე მეტი სინათლე „გადის“.)
- მოდელირებული ვარსკვლავური სინათლე მიანიშნებს, რომ ბოლო ძლიერი ვარსკვლავთწარმოქმნის ეპიზოდი ერთდროულად ხელს უწყობს მაიონებელი სინათლის წარმოქმნასაც და მის გალაქტიკიდან გამოსვლასაც.
- ავტორების სიტყვებით, „ფრთხილი მხარდაჭერა“ იმ იდეისთვის, რომ მაღალი redshift-ის პირობებში Lyman-alpha ხაზის ფორმა escape-ის ინდიკატორად გამოდგეს.

რას არ ამტკიცებს ეს

- ეს **არ ავლენს „იმ გალაქტიკებს, რომლებმაც სამყარო რეიონიზება მოახდინეს“**. აქ მხოლოდ ერთი გალაქტიკაა და ის რეიონიზაციის დასრულებიდან დაახლოებით 250 მილიონი წლის შემდეგ გვხვდება, არა თავად ეპოქაში. ეს გზად მიმავალი საფეხურია და არა რეიონიზაციის უშუალო სურათი.
- თავის არიდება წილი **პირდაპირი გაზომვა არ არის**. ის მიიღება დაკვირვებული სინათლის გაყოფით გალაქტიკის მიერ წარმოქმნილი სინათლის *მოდელირებულ* რაოდენობაზე, შემდეგ კი გალაქტიკათშორისი შთანთქმის *მოდელირებული* კორექციით. ავტორები შეგნებულად იყენებენ შედარებით გამჭვირვალე ხედვის ხაზს, რადგან გალაქტიკა, რომლის გაჟონილი სინათლეც ჩვენამდე საერთოდ აღწევს, საშუალოზე უფრო გამჭვირვალე მიმართულებაში უნდა იდგეს. ფართო დიაპაზონი — 50–100%, ფარდობითი შეფასებით კი უფრო მეტიც — ამ მოდელურ დამოკიდებულებას პატიოსნად ასახავს.
- ეს **არ ამტკიცებს** ახალ Lyman-alpha tracer-ს. ერთი ობიექტიდან მიღებული „ფრთხილი მხარდაჭერა“ პირველი ტესტია და არა დადასტურება.
- ეს **თავისთავად ვერ ადგენს**, რომ რეიონიზაციას ფეთქებად-ეპიზოდური ვარსკვლავთწარმოქ მართავდა. ეს ერთი გალაქტიკისა და tracer-ის ანალიზზე აგებული გონივრული ინტერპრეტაციაა და არა დამტკიცებული კანონი.

რამდენად ძლიერია მტკიცებულება

- **ძლიერია იქ, სადაც პირდაპირია:** redshift-ის განსაზღვრა (Lyman-alpha-ს დამახასიათებელი ასიმეტრიული ხაზი და მხოლოდ 0.0076% წინა პლანის დაბინძურების ალბათობა) და გალაქტიკიდან გამოსული სინათლის აღმოჩენა (5.2–5.3σ, მილიონ ცარიელ აპერტურასთან შედარება და წინ მდებარე ობიექტის ხაფანგის ფრთხილი გამორიცხვა — პრობლემა, რომელმაც ადრე რამდენიმე მაღალი redshift-ის თავის არიდება მტკიცება დააზიანა).
- **უფრო სუსტია, და ავტორებიც ასე წარმოაჩენენ, სადაც მოდელირებაა საჭირო:** თავის არიდება fraction-ის *ზუსტი მნიშვნელობა* (ვარსკვლავურ მოდელსა და არჩეულ გალაქტიკათშორის ხედვის ხაზზეა დამოკიდებული), რეიონიზაციასთან ფართო კავშირის მნიშვნელობა (ერთი ობიექტი პლუს ინტერპრეტაცია) და ახალი tracer (პირველი, ფრთხილი ტესტი).
- ნაშრომის სიფრთხილე მის დიაპაზონებში ჩანს. ავტორები ერთ რიცხვს კი არ იძლევიან, არამედ შუალედებს; tracer-ის მხარდაჭერას „ფრთხილს“ უწოდებენ და საკუთარი გალაქტიკათშორისი გადაცემა-ის ერთ შეფასებასაც კი არ ენდობიან. ეს თვითონ ფრთხილი ნაშრომია; გადაჭარბების რისკი უფრო მის გარეთ ჩნდება.

რატომ არის მნიშვნელოვანი

გალაქტიკებიდან გამოსული მაიონებელი სინათლის პირდაპირი აღმოჩენები უკვე თითქმის იმ ზღვრამდე მივიდა, საიდანაც რეიონიზაციის ეპოქა იწყება — იმ ადგილამდე, სადაც ეს სინათლე ჯერ კიდევ ძლივს აღწევს ჩვენამდე. ეს თავისთავად მნიშვნელოვანი მიღწევაა. მაგრამ უფრო მშვიდი შედეგი შეიძლება მომავალში უფრო ღირებული აღმოჩნდეს: როცა რეიონიზაციის *შიგნით* გადავდივართ, პირდაპირი მეთოდი საერთოდ აღარ მუშაობს და ყველაფერი ახლომდებარე, უფრო ადვილად შესასწავლ გალაქტიკებზე დაკალიბრებულ არაპირდაპირ tracer-ებზე ხდება დამოკიდებული. ერთ-ერთი ასეთი tracer-ის აქ გამოცდა, სადაც იგი ჯერ კიდევ შეიძლება რეალურ აღმოჩენას შევადაროთ, სწორედ ის გზაა, რომ უფრო შორეულ ეპოქაში მისი გამოყენების საფუძველი შევქმნათ. MXDFz4.4-ის მნიშვნელობა ნაკლებად არის „ვიპოვეთ გალაქტიკა, რომელმაც სამყარო რეიონიზება მოახდინა“ და უფრო მეტად — „ვსწავლობთ, როგორ წავიკითხოთ გაჟონვის ნიშნები და ვამოწმებთ ინსტრუმენტებს იმ დროისთვის, როცა პირდაპირი სინათლე აღარ გამოჩნდება“.

მოკლე შეჯამება

Hubble-ისა და JWST-ის გამოყენებით ასტრონომებმა პირდაპირ აღმოაჩინეს მაიონებელი ულტრაიისფერი, რომელიც z = 4.442-ზე მდებარე ერთი გალაქტიკიდან გამოდის — ასეთი სინათლის ყველაზე შორეული პირდაპირი აღმოჩენა, დაახლოებით 250 მილიონი წლით კოსმოსური რეიონიზაციის დასრულების შემდეგ. თვითონ აღმოჩენა ძლიერია. ხშირად ციტირებადი 50–100%-იანი თავის არიდება წილი კი პირდაპირ არ გაუზომავთ: ის გალაქტიკის ვარსკვლავური პოპულაციისა და ხელსაყრელ ხედვის ხაზზე გალაქტიკათშორისი შთანთქმის მოდელებით აღადგინეს, ამიტომაც მისი დიაპაზონი ფართოა. ამასთან, გუნდმა პირველად ამ redshift-ზე გამოსცადა გაჟონვის არაპირდაპირი ნიშანი — Lyman-alpha ხაზის ფორმა — და მის სასარგებლოდ მხოლოდ „ფრთხილი მხარდაჭერა“ მიიღო. ეს ერთი ობიექტის ფრთხილი შედეგია: რეალურად დაჭერილი გაჟონვა, მასზე მიბმული პატიოსნად გაურკვეველი რიცხვი და პირველი ნაბიჯი იმ ინსტრუმენტებისკენ, რომლებიც საჭირო იქნება მაშინ, როცა გაჟონილი სინათლე საერთოდ აღარ გამოჩნდება.

ზედმეტი ხმაურის გარეშე

რას აჩვენებს ნაშრომი: z = 4.442-ზე მდებარე გალაქტიკიდან გამოსული მაიონებელი (Lyman-continuum) სინათლის პირდაპირ 5.2–5.3σ აღმოჩენას — დღემდე ყველაზე მაღალი redshift-ის ასეთ შემთხვევას — წინა პლანის დაბინძურების ხაფანგის ფრთხილი გამორიცხვით.

რა არის სარწმუნო, მაგრამ დაუმტკიცებელი: რომ გალაქტიკის თავის არიდება

წილი 50–100%-ია. პირდაპირი სიგნალი რეალურია; წილი კი ვარსკვლავური პოპულაციისა და გალაქტიკათშორისი შთანთქმის მოდელებით, ხელსაყრელ ხედვის ხაზზეა აღდგენილი, ამიტომ აქვს ასეთი ფართო დიაპაზონი. ასევე სარწმუნო, მაგრამ ჯერ დაუდასტურებელია, რომ Lyman-alpha ხაზის ფორმა ასეთ შორეულ ეპოქაში თავის არიდება tracer-ად გამოდგება — ნაშრომი მხოლოდ ერთი ობიექტიდან მიღებულ „ფრთხილ მხარდაჭერას“ გვთავაზობს.

რას არ აჩვენებს: რომ ეს არის გალაქტიკა, რომელმაც „სამყარო რეიონიზება მოახდინა“ (იგი ეპოქის შემდეგ მდებარეობს და მხოლოდ ერთი ობიექტია), ან რომ რეიონიზაცია სწორედ ეპიზოდურმა ვარსკვლავთწარმოქმნამ გამოიწვია (ეს ინტერპრეტაციაა და არა დემონსტრირება).

მთავარი შეზღუდვები: ერთი ობიექტი; მოდელურ არჩევანებსა და შეგნებულად გამჭვირვალე ხედვის ხაზზე დამოკიდებული თავის არიდება წილი; ახალი tracer-ის მხოლოდ პირველი, ფრთხილი ტესტი; და მაიონებელი სინათლის შესწავლის ფუნდამენტური სირთულე იმ ეპოქასთან ახლოს, სადაც ის ჩვენთვის უხილავი ხდება.

რამდენად უნდა ენდოს ამას ზოგადი მკითხველი? მაღალი ნდობა იმისა, რომ გალაქტიკიდან გამოსული სინათლე ნამდვილად დაინახეს და ეს დღემდე ყველაზე შორეული ასეთი აღმოჩენაა. დაბალი-საშუალო ნდობა ზუსტ თავის არიდება fraction-ზე — „50–100%“ უნდა წავიკითხოთ როგორც მოდელირებული დიაპაზონი და არა პირდაპირი გაზომვა. საშუალო ნდობა ახალ tracer-ზე: პერსპექტიული პირველი შემოწმება, მაგრამ ჯერ არა დამკვიდრებული ინსტრუმენტი.

გამოქვეყნების შემდეგი განახლებები

- **შესწორება · 2026-07-28**
  ნაშრომის ერთ-ერთი ავტორის, Ilias Goovaerts-ის, გამოხმაურების შემდეგ სტატია თავიდანვე განასხვავებს მაიონებელ სინათლეს ზოგადი ულტრაიისფერისგან: ცალსახად არის აღნიშნული, რომ მაიონებელია მხოლოდ მოკლე ტალღის UV — 912 ანგსტრემის Lyman limit-ზე ქვემოთ — ხოლო უფრო გრძელი ტალღის UV არ არის მაიონებელი და მაღალი redshift-ის გალაქტიკებიდან მას რეგულარულად ვაკვირდებით.

წყაროები

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