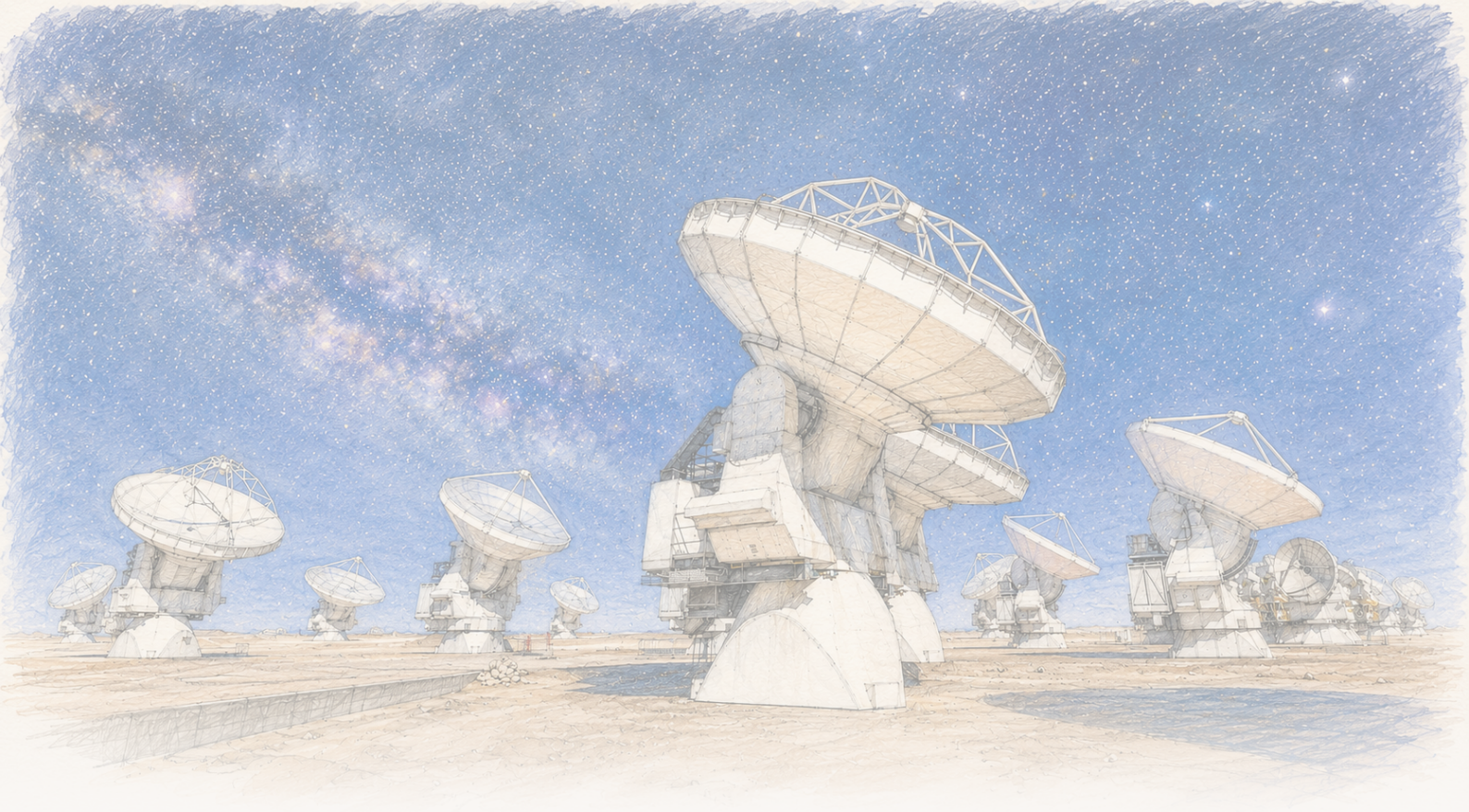


The Clean Paper

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

Kometa ndëryjore 3I/ATLAS bart ujë të formuar në kushte më të ftohta se kometat tona — leximi i parë kimik i ujit nga një sistem tjetër planetar

Me ALMA, astronomët kufizuan raportin mes hidrogjenit "të rëndë" dhe atij të zakonshëm në ujin e 3I/ATLAS — objekti i tretë ndëryjor i njohur — dhe gjetën një pasurim të fortë me deuterium: të paktën rreth 40 herë oqeanet e Tokës dhe 30 herë një kometë tipike të Sistemit Diellor. Kjo tregon ujë të formuar në kushte më të ftohta se kometat tona. Rezultati është një kufi i poshtëm, i nxjerrë në mënyrë indirekte (uji i zakonshëm nuk u detektua drejtpërdrejt), dhe nuk thotë asgjë për jetë apo teknologji — vetëm për kimi dhe të ftohtë.

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

Paper: *Water D/H in 3I/ATLAS as a Probe of Formation Conditions in Another Planetary System*, L. E. Salazar Manzano, T. Paneque-Carreño et al., Nature Astronomy (2026) · DOI: 10.1038/s41550-026-02850-5

Antena DV-59 në plan të parë, me disa antena ALMA duke vëzhguar qiellin e natës të ndriçuar nga Hëna. Krediti: Alex Pérez / ALMA Observatory.

Alex Pérez / ALMA Observatory CC BY 4.0

Një kometë nga një yll tjetër dhe gjurma e gishtit në ujin e saj

Herë pas here në Sistemin Diellor kalon diçka që nuk ka qenë kurrë e jona. Jo një shkëmb i humbur nga brezi i asteroidëve, jo një kometë që kthehet nga reja e Oortit në orbitën e saj të stërgjatë, por një objekt në një trajektore të hapur, hiperbolike — që ka ardhur nga hapësira ndëryjore, do të kalojë vetëm një herë rreth Diellit dhe do të largohet përgjithmonë. Deri tani kemi parë tre. I pari, ‘Oumuamua, në 2017, pothuajse ishte larguar para se të kishte marrë fund debati se çfarë ishte. I dyti, 2I/Borisov, në 2019, ishte qartazi kometë. I treti, i zbuluar në korrik 2025, është 3I/ATLAS — dhe erdhi me një komë aq aktive sa të lejonte matje reale kimike.

Kjo është pjesa që ia vlen të mbahet mend para se të nisë zhurma. Një kometë ndëryjore është, fjalë për fjalë, një copëz e një sistemi tjetër planetar: akull dhe pluhur të kondensuar rreth një ylli tjetër, të hedhur me shumë gjasë jashtë nga një goditje gravitacionale shumë kohë më parë, që kanë lëvizur nëpër Galaktikë dhe kanë kaluar rastësisht aq afër Diellit tonë sa akujt të fillonin të avullonin pikërisht aty ku teleskopët tanë mund t’i shihnin. Ky është fakti vërtet i jashtëzakonshëm dhe është mjaftueshëm mahnitës pa i shtuar asgjë.

Megjithatë, zakonisht i shtohet. Objektet ndëryjore tërheqin një lloj të veçantë mbulimi dramatik — dritat zbehen, vjen pyetja *po sikur ta ketë ndërtuar dikush?* — dhe 3I/ATLAS mori pjesën e vet. Përgjigjja e ndershme është ajo e mërzitshme, dhe ajo e mërzitshme është më interesante: është një kometë. Pyetja e vërtetë nuk ishte kurrë nëse dikush e kishte ndërtuar. Ishte një pyetje më e qetë: nëse mund të lexoje kiminë e diçkaje të formuar rreth një ylli tjetër, çfarë do të të tregonte ajo për familjen planetare të atij ylli? Dhe si mund të lexohej fare?

Instrumenti i leximit, këtë herë, është uji. Uji ka dy hidrogjene dhe një oksigjen, por një pjesë e vogël e hidrogjenit të tij është *deuterium* — një version më i rëndë, një atom i zakonshëm hidrogjeni me një neutron shtesë. Raporti i hidrogjenit të rëndë ndaj hidrogjenit të zakonshëm në ujë, i shkruar D/H, nuk është i rastësishëm. Kimia e përcakton në masë të madhe nga sa i ftohtë ishte vendi ku u formua fillimisht uji: sa më e ftohtë dhe më e qetë të jetë "djepi", aq më shumë deuterium përfshihet. Dhe meqë kometa është në thelb një ngrirës natyror — që mund t'i ruajë akujt për miliarda vjet — raporti D/H i ujit të saj mund të ruajë një gjurmë të kushteve ku u formua ai ujë.

Gjurmët e sistemit tonë i njohim relativisht mirë: oqeanet e Tokës dhe familjet e ndryshme të kometave të Sistemit Diellor grumbullohen në një interval mjaft të ngushtë. Ajo që askush nuk kishte matur bindshëm ishte e njëjta gjurmë për ujë të formuar rreth **një ylli tjetër**. Pikërisht këtë synonte të lexonte ky punim te 3I/ATLAS.

Çfarë bënë autorët

Ata drejtuan ALMA — rrjetin e madh të antenave radio në shkretëtirën kiliane — drejt 3I/ATLAS më 4 nëntor 2025, gjashtë ditë pasi kometa kishte kaluar pranë Diellit. Instrumenti u akordua për të kapur emetimin e dobët në gjatësi valore milimetrike të tri molekulave në komë: ujit të zakonshëm (H_2O), ujit **të rëndë** (HDO, ku një hidrogjen është deuterium) dhe metanolit (CH_3OH).

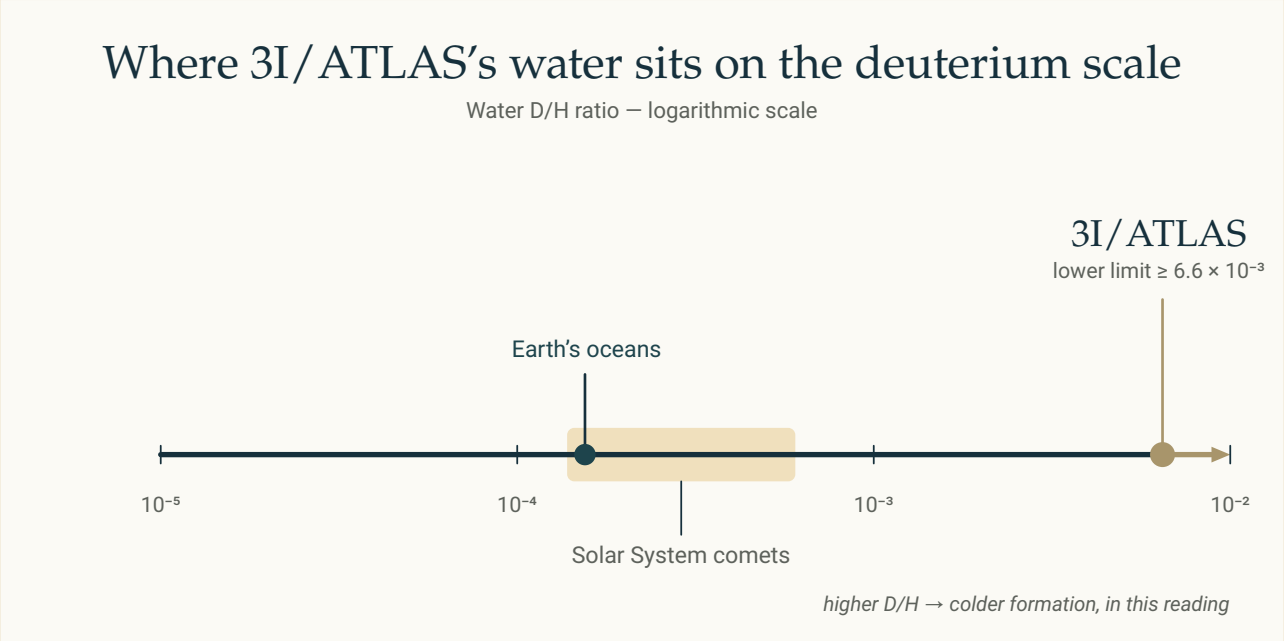
Raporti D/H që kërkonin është, në thelb, raporti mes ujit të rëndë dhe ujit të zakonshëm. Pra u duheshin të dy. Më pas spektrat u analizuan me një model transferimi rrezatues të një atmosfere kometare që zgjerohet (një kod i quajtur SUBLIME) dhe u përshtatën me mjete statistikore të ngjashme me ato që përdoren për të nxjerrë përbërjen e atmosferave të ekzoplanetëve, për të vlerësuar temperaturën, rrjedhën dhe ritmet e prodhimit të secilës molekulë.

Një pengesë përcakton gjithçka që vjen më pas: **ata nuk e detektuan drejtpërdrejt ujin e zakonshëm.** HDO dhe metanoli u shfaqën; H_2O mbeti nën nivelin e zhurmës. Kjo nuk ndodhi sepse kometa kishte pak ujë të zakonshëm — ka shumë më tepër H_2O se HDO. Dukshmëria e një vije spektrale varet jo vetëm nga sasia e molekulës, por edhe nga sa e favorshme është vetë vija për t'u vëzhguar, dhe këtu dy faktorë punonin kundër H_2O. I pari është atmosfera e Tokës: vija e H_2O që mund të synohej (afër 183 GHz) ndodhet pikërisht aty ku avulli i ujit në atmosferën tonë thith fort, ndaj të lexosh ujin e kometës nga toka është pak si të shohësh një qiri përmes mjegullës. Punimi vëren se këto breza uji me energji të ulët vuajnë nga thithje e fortë atmosferike, ndërsa vija e HDO afër 241 GHz bie në një dritare më të pastër. I dyti është ndjeshmëria: kanali i H_2O ishte shumë më i zhurmshëm — rreth 500 mJy për rreze krahasuar me 21 për HDO — kështu që edhe një sinjal i bollshëm mund të fshihej nën zhurmë. Mes "mjegullës" dhe zhurmës, uji i zakonshëm, megjithëse i bollshëm, mbeti nën prag,

ndërsa uji i rëndë shumë më i rrallë u pa qartë në një dritare më të pastër dhe më të qetë. (Nga hapësira, mbi atmosferë, i njëjti ujë shihet shumë më lehtë: JWST më vonë e detektoi ujin e kometës në infra të kuqe, pas perihelit — pra mosdetektimi nga ALMA lidhet me atë vijë të caktuar përmes atmosferës së Tokës, jo me mungesën e ujit.) Për këtë arsye, sasia e ujit të zakonshëm duhej të nxirrej **në mënyrë indirekte** — kryesisht nga mënyra si eksitoheshin vijat e metanolit, e cila varet nga sa shpesh molekulat e metanolit përplasen me molekula uji. Kjo është një matje reale, por e varur nga modeli, dhe autorët e deklarojnë qartë.

Çfarë gjetën

- **Ujë të rëndë, por jo ujë të zakonshëm.** HDO dhe disa vija metanoli u detektuan qartë; H_2O jo. Meqë raporti D/H mbështetet në një *kufi të sipërm* të ritmit të prodhimit të ujit të zakonshëm — trajtuar qëllimisht si i tillë sepse vija e H_2O mbeti nën zhurmë — raporti i deuteriumit del si **kufi i poshtëm**, jo si një vlerë e vetme.
- **Pasurim i fortë me deuterium.** Në skenarin konservator të autorëve, raporti D/H i ujit është **më i madh se** 6.6×10^{-3} — më shumë se rreth **40 herë** vlera e oqeaneve të Tokës dhe më shumë se rreth **30 herë** ajo e një komete tipike të Sistemit Diellor. Sipas të dy vlerësimeve të tyre, 3I/ATLAS ndodhet në skajin më të lartë të çdo matjeje të D/H të ujit të bërë deri tani.
- **Me gjasë nuk është një rastësi e një nate.** Matja vjen nga një epokë e vetme, por një vështrim paraprak i të dhënave ALMA në ditët përreth nuk tregon ndryshim të madh nga dita në ditë dhe një analizë e pavarur me JWST, më shumë se një muaj më vonë, tregon në të njëjtin drejtim — ujë i pasur me deuterium.



Pozicioni i ujit të 3I/ATLAS në shkallën e deuteriumit: shumë larg në skajin e pasur me deuterium, përtej oqeaneve të Tokës dhe gjithë popullatës së kometave të Sistemit Diellor (e paraqitur këtu si interval i përafërt). Shigjeta shënon një *kufi të poshtëm* — vlera e vërtetë mund të jetë më e lartë. Një raport i lartë D/H është

gjurmë e **kushteve të ftohta të formimit**, jo adresë origjine.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Çfarë ka të ngjarë të thotë kjo

Një raport i lartë D/H në ujë është shenjë e ujit që është ngrirë në një mjedis shumë të ftohtë (nën afërsisht 30 K) dhe që më pas nuk është ripërpunuar shumë nga nxehtësia. Leximi më i pastër, pra, është se uji i 3I/ATLAS u formua në kushte **më të ftohta dhe më të buta termikisht** se uji në kometat e Sistemit tonë Diellor — dhe, për rrjedhojë, sistemi i tij planetar mëmë i formoi akujt ndryshe nga yni.

Autorët janë të kujdesshëm me hapin tjetër dhe duhet të jemi edhe ne. Ekzistojnë dy mënyra për të marrë ujë kaq të pasur me deuterium dhe kjo matje nuk i dallon: uji mund ta ketë **trashëguar** pasurimin nga reja e ftohtë ku lindi sistemi, ose vlera mund të jetë vendosur më vonë gjatë formimit të kometës në pjesën e ftohtë të jashtme të diskut. Në të dy rastet mbetet përfundimi i rëndësishëm — kushtet që formuan 3I/ATLAS nuk ishin të njëjtat që formuan kometat tona — por **pse-ja** mbetet e hapur.

Pra, kjo është hera e parë që është lexuar gjurma e formimit të ujit në material nga një sistem tjetër planetar dhe është gjetur se nuk përputhet me tonën.

Çfarë *nuk* provon kjo

- **Nuk thotë asgjë** për jetë, teknologji apo qëllim. Nuk ka një objekt "të ndërtuar"; "ndëryjor" përshkruan trajektoren, jo një histori artificiale origjine. Kjo është një matje e kimisë së ujit.
- **Nuk është një vlerë e saktë D/H.** Është një *kufi i poshtëm*, dhe uji i zakonshëm të cilit i referohet nuk u detektua drejtpërdrejt — sasia e tij u nxor nga eksitimi i një molekule tjetër, metanolit, duke supozuar se uji është partneri kryesor i përplasjeve.
- **Nuk tregon ku ka lindur 3I/ATLAS.** Ylli mëmë nuk mund të identifikohet me besueshmëri dhe një raport i lartë D/H jep informacion për **kushtet**, jo një adresë.
- **Nuk përcakton pse** uji është i pasur me deuterium. "I trashëguar nga një re e ftohtë e lindjes" dhe "i vendosur gjatë formimit në disk" përputhen të dy me të dhënat; punimi nuk zgjedh mes tyre.
- Është **një objekt**, i matur në **një epokë**. Përputhja me të dhëna të tjera është inkurajuese, por nuk është një seri e gjatë matjesh.

Sa e fortë është prova?

Duhet ndarë drejtimi i rezultatit nga numri i saktë.

- **Drejtimi është i fortë.** Përfundimi se uji i 3I/ATLAS është dukshëm i pasur me deuterium vjen nga një kufi i poshtëm konservator, që ndodhet qartazi mbi popullatën e kometave të Sistemit Diellor dhe mbështetet nga një analizë e pavarur JWST. Kjo pjesë nuk është e brishtë.
- **Numri mbështetet në një zinxhir modelimi.** Meqë H_2O nuk u detektua, sasia e ujit — dhe rrjedhimisht raporti D/H — varet nga nxjerrja indirekte e ujit përmes eksitimit të metanolit. Kjo supozon se uji është partneri dominues i përplasjeve në komë (e besueshme pranë perihelit, por nuk përjashtohet një kontribut nga CO_2) dhe përdor ritme përplasjeje të përafërta, që vetë autorët i konsiderojnë dobët të kufizuara. Ata i theksojnë këto kufizime dhe për këtë arsye raportojnë me vetëdije një **kufi**, jo një matje të vetme.
- **Interpretimi është i arsyeshëm, por jo unik.** Formimi i ftohtë është shpjegimi natyror për D/H të lartë; nëse ky "ftohtë" është trashëguar apo vendosur më vonë mbetet e pazgjidhur, dhe sistemi mëmë nuk mund të identifikohet.

Me pak fjalë: përfundimi se uji u formua në të ftohtë është i fortë; **sa** i ftohtë saktësisht dhe **pse** mbeten me të drejtë të hapura.

Pse ka rëndësi

Për dekada, pyetja se nga erdhi uji i Tokës — dhe çfarë përcakton gjurmën izotopike të deuteriumit në sistemet planetare në formim — është studiuar vetëm me matje brenda Sistemit tonë Diellor. Kjo është hera e parë që ajo hartë zgjatet me material që është formuar demonstrueshëm rreth një ylli tjetër.

Përgjigjja nuk është "kudo është si në shtëpi". Është e kundërta: një sistem tjetër mund t'i formojë akujt në kushte aq të ftohta sa të lërë një gjurmë që kometat tona nuk e kanë. Është një provë e vogël dhe konkrete për diçka më të madhe: kimia dhe historia e trupave të ngurtë nga të cilët ndërtohen planetët mund të ndryshojnë nga një yll te tjetri. Dhe kjo nuk u mësua nga një anije kozmike e dërguar përtej viteve-dritë, por duke kapur një fragment të rastësishëm të një sistemi tjetër teksa kalonte pranë nesh dhe duke lexuar ujin e tij para se të largohej.

Përmbledhje e shkurtër

3I/ATLAS është objekti i tretë ndëryjor i njohur dhe kometa e dytë aktive ndëryjore — një copëz e një sistemi tjetër planetar që kalon vetëm një herë nëpër tonin. Duke përdorur ALMA pranë kalimit të kometës rreth Diellit, astronomët detektuan ujë të rëndë (HDO) dhe metanol në komën e saj, por jo ujë të zakonshëm, dhe prej kësaj nxorën raportin deuterium/hidrogjen të ujit. Rezultati tregon pasurim të fortë me deuterium — një kufi i poshtëm mbi 6.6×10^{-3}, rreth 40 herë oqeanet e Tokës dhe 30 herë një kometë tipike të Sistemit Diellor — që tregon ujë të formuar në kushte më të ftohta dhe më pak të ripërpunuara termikisht se kometat tona. Shifra është një kufi i poshtëm i nxjerrë në mënyrë indirekte përmes një modeli, jo matje e drejtpërdrejtë, dhe nuk mund të tregojë nëse pasurimi u trashëgua nga një re e ftohtë lindjeje apo u vendos më vonë në një disk të ftohtë, as se nga

cili yll erdhi kometa. Megjithatë, është leximi i parë i kësaj gjurme kimike të veçantë për ujë nga një yll tjetër — dhe gjurma nuk përputhet me tonën.

Kontroll pa teprime

Çfarë tregon punimi: Nga vëzhgimet ALMA të kometës ndëryjore 3I/ATLAS pranë perihelit, një kufi i poshtëm për raportin D/H të ujit $>6.6 \times 10^{-3}$ në skenarin konservator — rreth 40× oqeanet e Tokës dhe 30× një kometë tipike të Sistemit Diellor — që nënkupton ujë të formuar në kushte dukshëm më të ftohta dhe më pak të përpunuara termikisht se kometat e Sistemit Diellor. Një analizë e pavarur JWST pajtohet me drejtimin e rezultatit.

Çfarë është e besueshme, por jo e provuar: Që pasurimi është trashëguar drejtpërdrejt nga një re e ftohtë para-yjore, kundrejt faktit që është vendosur gjatë formimit të kometës në një disk të ftohtë protoplanetar. Të dy skenarët përputhen; të dhënat nuk i dallojnë.

Çfarë nuk tregon: Asgjë për jetë, teknologji ose origjinë artificiale; një vlerë të saktë D/H (është kufi i poshtëm); identitetin apo vendndodhjen e yllit mëmë; mekanizmin specifik pas D/H të lartë; ose që një rezultat nga një epokë e vetme është i pandjeshëm ndaj ndryshueshmërisë së komës.

Kufizimet kryesore: H_2O nuk u detektua drejtpërdrejt, prandaj sasia e ujit — dhe kështu D/H — nxirret në mënyrë indirekte nga eksitimi i metanolit, duke supozuar se uji është partneri kryesor i përplasjeve dhe duke përdorur ritme të përafërta përplasjesh që autorët i quajnë dobët të kufizuara; rezultati është një kufi i varur nga modeli nga një epokë e vetme; sistemi mëmë nuk mund të identifikohet.

Sa besim duhet të ketë një lexues i përgjithshëm? Të lartë se uji i 3I/ATLAS është vërtet i pasur me deuterium dhe u formua në kushte më të ftohta se uji i kometave tona, dhe të lartë se kjo nuk thotë absolutisht asgjë për alienë. Mesatar për shkallën e saktë të pasurimit, që është një kufi i poshtëm i varur nga modeli. Të ulët për shkakun dhe vendlindjen specifike, që mbeten të hapura. Qëndrimi i arsyeshëm: habi e qetë për një "kartolinë kimike" nga një sistem tjetër yjor — jo mister dhe jo anije kozmike.

Burimet

Nature Astronomy (2026)
https://doi.org/10.1038/s41550-026-02850-5

arXiv 2603.07026
https://arxiv.org/abs/2603.07026

Independent JWST corroboration (Cordiner et al., arXiv 2603.06911)
https://arxiv.org/abs/2603.06911

ALMA data archive (project 2025.A.00002.T)

https://almascience.nrao.edu/aq/