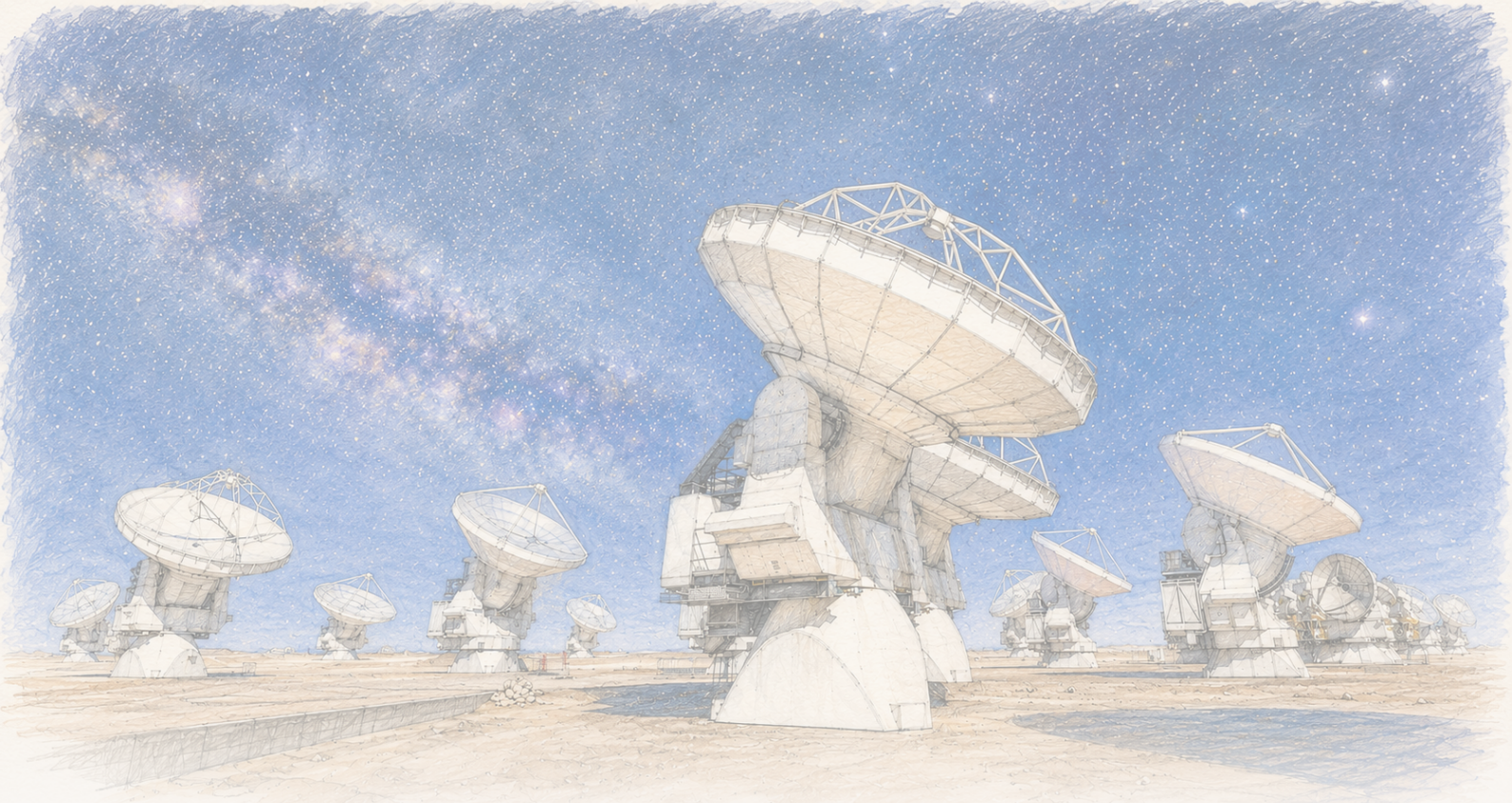




The CLEAN PAPER

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

Interstellaire komeet 3I/ATLAS draagt water dat kouder is gevormd dan dat van onze eigen kometen — een eerste chemische lezing van een ander planetenstelsel

Met ALMA bepaalden astronomen een grens voor de verhouding tussen “zware” en gewone waterstof in het water van 3I/ATLAS — het derde bekende interstellaire object — en vonden een sterke verrijking aan deuterium: minstens ongeveer 40 keer de oceanen op aarde en 30 keer een typische komeet in het zonnestelsel. Dat wijst op water dat onder koudere omstandigheden is gevormd dan het water in onze eigen kometen. Het resultaat is een indirect afgeleide ondergrens (het water zelf werd niet rechtstreeks gedetecteerd) en zegt niets over leven of technologie — alleen over chemie en kou.

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



De DV-59-antenne op de voorgrond, met meerdere ALMA-antennes die de maanverlichte nachtelijke hemel waarnemen. Credit: Alex Pérez / ALMA Observatory.

Alex Pérez / ALMA Observatory CC BY 4.0

Een komeet van een andere ster, en de vingerafdruk in zijn water

Af en toe schiet er iets door het zonnestelsel dat hier nooit thuishoorde. Geen verdwaald stuk gesteente uit de asteroïdengordel, geen komeet die aan zijn lange baan vanuit de Oortwolk terugzwaait, maar een object op een open, hyperbolische baan — afkomstig uit de interstellaire ruimte, dat één keer om de zon heen gaat en daarna voorgoed vertrekt. We hebben er inmiddels drie gezien. De eerste, ‘Oumuamua in 2017, was bijna alweer verdwenen voordat men het erover eens was wat het precies was geweest. De tweede, 2I/Borisov in 2019, was onmiskenbaar een komeet. De derde, ontdekt in juli 2025, is 3I/ATLAS — en die arriveerde met een coma die actief genoeg was om er echte chemie aan te bedrijven.

Dit is het deel dat de moeite waard is om vast te houden voordat het rumoer begint. Een interstellaire komeet is letterlijk een splinter van een ander planetenstelsel: ijs en stof die rond een andere ster condenseerden, vermoedelijk lang geleden door een zwaartekrachtslinger uit dat stelsel zijn geschoten, door de Melkweg hebben gezworven en toevallig dicht genoeg langs onze zon kwamen om hun ijs precies daar te laten verdampen waar onze telescopen konden meekijken. Dat is op zichzelf al het

werkelijk opmerkelijke feit. Het is verbazingwekkend genoeg zonder extra opsmuk.

Die opsmuk komt er meestal toch. Interstellaire objecten trekken een bepaald soort ademloze berichtgeving aan — gedimd licht, en dan *maar wat als iemand het gebouwd heeft?* — en 3I/ATLAS kreeg daar zijn deel van. Het eerlijke antwoord is het saaie antwoord, en het saaie antwoord is interessanter: het is een komeet. De echte vraag was nooit of iemand hem heeft gemaakt. De stillere vraag is veel beter: als je de chemie kunt lezen van materiaal dat rond een andere ster is gevormd, wat vertelt dat dan over het stelsel van die ster? En hoe lees je zoiets überhaupt?

Het meetinstrument is deze keer water. Water bestaat uit twee waterstofatomen en één zuurstofatoom, maar een klein deel van die waterstof is *deuterium* — een zwaardere tweelingvorm, een gewoon waterstofatoom met één extra neutron. De verhouding tussen zware en gewone waterstof in water, geschreven als D/H, is niet willekeurig. De chemie legt die verhouding grotendeels vast op basis van hoe koud het was waar het water voor het eerst ontstond: hoe kouder en rustiger de kraamkamer, hoe meer deuterium wordt ingebouwd. En omdat een komeet in wezen een diepvries is — een die zijn ijs miljarden jaren koud kan bewaren — kan de D/H-verhouding van zijn water een vingerafdruk vasthouden van de omstandigheden waarin dat water werd gevormd.

De vingerafdrukken van ons eigen stelsel kennen we redelijk goed: de oceanen op aarde en de verschillende families van kometen in het zonnestelsel liggen binnen een vrij smalle band. Wat nog nooit goed was vastgesteld, was diezelfde vingerafdruk voor water dat rond *een andere* ster is ontstaan. Precies dat probeerde dit onderzoek in 3I/ATLAS te lezen.

Wat de auteurs deden

Ze richtten ALMA — het grote netwerk van radiotelescopen in de Chileense woestijn — op 4 november 2025 op 3I/ATLAS, zes dagen nadat de komeet langs de zon was gegaan. De ontvangers werden afgestemd op de zwakke millimetergloed van drie moleculen in de coma: gewoon water (H_2O), *zwaar* water (HDO, waarin één waterstofatoom deuterium is) en methanol (CH_3OH).

De gezochte D/H-verhouding komt in de praktijk neer op de verhouding tussen zwaar en gewoon water. Daarvoor hadden ze dus beide nodig. Vervolgens voerden ze de spectra door een model voor stralingsoverdracht in een uitdijende komeetatmosfera (een code genaamd SUBLIME) en pasten ze die met hetzelfde soort statistische methoden die worden gebruikt om de samenstelling van exoplaneet atmosferen af te leiden. Zo schatten ze temperatuur, uitstroomsnelheid en de productie van elk molecuul.

Eén probleem bepaalt alles wat daarna komt: **ze hebben het gewone water zelf niet gedetecteerd.** HDO en methanol verschenen wel; H_2O bleef onder het ruisniveau. Dat betekent niet dat er weinig gewoon water was — daarvan is juist veel meer dan van de zware variant. Of een spectraallijn zichtbaar wordt, hangt niet alleen af van hoeveel van een molecuul aanwezig is, maar ook van hoe goed juist die lijn waarneembaar is. Bij de waterlijn werkten twee dingen tegen. Ten eerste de atmosfeer: de H_2O -lijn die ALMA kon gebruiken (rond 183 GHz) ligt precies waar de waterdamp in onze eigen atmosfeer sterk absorbeert. Water van een komeet vanaf de grond bekijken is daar een beetje als een kaars door mist proberen te zien. Het artikel merkt op dat zulke laag-energetische waterbanden

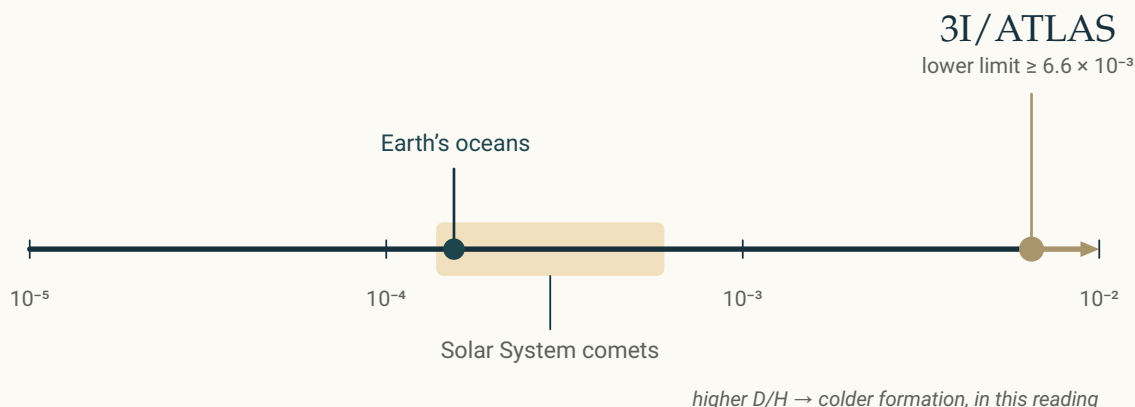
sterk door de atmosfeer worden geabsorbeerd, terwijl de HDO-lijn rond 241 GHz in een schoner venster valt. Ten tweede was het waterkanaal veel minder gevoelig: ongeveer 500 mJy per bundel aan ruis, tegenover 21 voor HDO. Daardoor kan zelfs een overvloedig signaal onder de drempel blijven. Tussen mist en ruis bleef het veel talrijkere gewone water dus onzichtbaar, terwijl het veel zeldzamere zware water in een schoner en stiller venster duidelijk opdook. (Vanuit de ruimte, boven de atmosfeer, is hetzelfde water veel eenvoudiger te zien: JWST detecteerde later na het perihelium water van de komeet in het infrarood. De niet-detectie door ALMA zegt dus iets over die ene lijn door de aardatmosfeer, niet over de afwezigheid van water.) De hoeveelheid gewoon water moest daarom *indirect* worden afgeleid — vooral uit de manier waarop de methanollijnen werden aangeslagen, wat afhangt van hoe vaak methanolmoleculen met water botsen. Dat is een echte meting, maar wel een modelafhankelijke, en de auteurs zeggen dat expliciet.

Wat ze vonden

- **Zwaar water, maar geen directe detectie van gewoon water.** HDO en verschillende methanollijnen werden duidelijk gedetecteerd; H₂O niet. Omdat de D/H-verhouding steunt op een *bovengrens* voor de productie van gewoon water — bewust zo behandeld omdat de waterlijn onder de ruis bleef — is de resulterende deuteriumverhouding een **ondergrens**, geen enkele exacte waarde.
- **Sterke verrijking aan deuterium.** In hun conservatieve scenario is de D/H-verhouding van het water **groter dan** 6.6×10^{-3} — meer dan ongeveer **40 keer** de waarde in de oceanen op aarde en meer dan ongeveer **30 keer** die van een typische komeet in het zonnestelsel. Met beide schattingmethoden zit 3I/ATLAS aan de uiterste hoge kant van alle D/H-metingen van water tot nu toe.
- **Waarschijnlijk geen toeval van één nacht.** De meting komt uit één waarneemepoch, maar een voorlopige blik op ALMA-data van nabijgelegen dagen laat geen grote dagelijkse schommeling zien. Een onafhankelijke JWST-analyse van 3I/ATLAS, meer dan een maand later, wijst dezelfde kant op: water dat rijk is aan deuterium.

Where 3I/ATLAS's water sits on the deuterium scale

Water D/H ratio — logarithmic scale



Waar het water van 3I/ATLAS op de deuteriumschaal ligt: ver aan de deuteriumrijke kant, voorbij de oceanen op aarde en de volledige komeetpopulatie van het zonnestelsel (hier als benaderd bereik weergegeven). De pijl geeft een *ondergrens* aan — de werkelijke waarde kan hoger liggen. Een hoge D/H-verhouding is een aanwijzing voor *koude vormingsomstandigheden*, niet voor een geboorteplaats.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Wat dit waarschijnlijk betekent

Een hoge D/H-verhouding in water is kenmerkend voor water dat bevroor waar het zeer koud was (onder ongeveer 30 K) en daarna niet sterk door warmte werd herwerkt. De eenvoudigste lezing is dus dat het water van 3I/ATLAS onder *koudere en rustigere* omstandigheden is gevormd dan het water in onze eigen kometen — en daarmee dat het moederstelsel zijn ijs anders heeft opgebouwd dan het onze.

De auteurs zijn voorzichtig met de volgende stap, en wij moeten dat ook zijn. Er zijn twee manieren om water zo rijk aan deuterium te krijgen, en deze meting kan ze niet uit elkaar houden: het water kan de verrijking hebben *geërfd* van de koude wolk waarin het stelsel werd geboren, of de verhouding kan later zijn vastgelegd tijdens de vorming van de komeet in een koude buitenschijf. In beide gevallen blijft de belangrijke conclusie overeind — de omstandigheden die 3I/ATLAS vormden waren niet dezelfde als die van onze kometen — maar het *waarom* blijft open.

Dit is dus de eerste keer dat de chemische vingerafdruk van de watervorming in materiaal uit een ander planetenstelsel is gelezen, en die blijkt niet overeen te komen met de onze.

Wat dit *niet* bewijst

- Het zegt **niets** over leven, technologie of opzet. Er is geen gebouwd “ding”; “interstellair” beschrijft een baan, geen ontstaansgeschiedenis. Dit is een meting van waterchemie.
- Het is **geen** nauwkeurige D/H-waarde. Het gaat om een *ondergrens*, en het water waarop die betrekking heeft werd niet rechtstreeks gedetecteerd — de hoeveelheid werd afgeleid uit de excitatie van een ander molecuul, methanol, onder de aanname dat water de belangrijkste botsingspartner is.
- Het onthult **niet** waar 3I/ATLAS is geboren. De moederster kan niet betrouwbaar worden geïdentificeerd, en een hoge D/H-verhouding is een aanwijzing voor *omstandigheden*, geen adres.
- Het beslist **niet** *waarom* het water rijk is aan deuterium. Zowel “geërfd uit een koude geboortewolk” als “vastgelegd tijdens schijfvorming” past bij de data; het artikel kiest niet tussen beide.
- Het gaat om **één** object, gemeten op **één** tijdstip. De onafhankelijke steun is bemoedigend, maar geen lange tijdreeks.

Hoe sterk is het bewijs?

Twee zaken moeten apart worden gewogen: de richting van het resultaat en het exacte getal.

- **De richting is robuust.** Dat het water van 3I/ATLAS sterk deuteriumrijk is, volgt uit een conservatieve ondergrens, ligt ruim boven de hele komeetpopulatie van het zonnestelsel en krijgt steun van een onafhankelijke JWST-analyse. Dit deel is niet fragiel.
- **Het getal rust op een modelketen.** Omdat H_2O niet werd gedetecteerd, hangt de hoeveelheid water — en daarmee de D/H-verhouding — af van een indirecte afleiding via methanolexcitatie. Daarvoor wordt aangenomen dat water de dominante botsingspartner in de coma is (aannemelijk nabij het perihelium, maar een bijdrage van CO_2 kan niet worden uitgesloten) en worden benaderde, naar eigen zeggen slecht begrensde botsingssnelheden gebruikt. De auteurs wijzen op al deze punten en rapporteren bewust een grenswaarde in plaats van een exacte meting.
- **De interpretatie is goed gemotiveerd, maar niet uniek.** Koude vorming is de natuurlijke verklaring voor een hoge D/H-verhouding; of die kou werd geërfd of later ontstond, blijft onopgelost, en het moederstelsel is niet te identificeren.

Kort gezegd: dat het water koud is gevormd staat stevig; precies *hoe* koud en precies *waarom* blijft terecht open.

Waarom het ertoe doet

Decennialang zijn vragen over waar het water op aarde vandaan kwam — en wat de deuteriumvingerafdruk van water in vormende planetenstelsels bepaalt — uitsluitend beantwoord met metingen binnen ons eigen zonnestelsel. Dit is de eerste keer dat die kaart wordt uitgebreid met materiaal dat

aantoonbaar rond een andere ster is gevormd.

Het antwoord is niet “overal lijkt het op thuis”. Integendeel: een ander stelsel kan zijn ijs vastleggen onder omstandigheden die koud genoeg zijn om een vingerafdruk achter te laten die onze kometen nooit droegen. Dat is een klein, concreet bewijsstuk voor iets groters: de chemie en geschiedenis van de vaste bouwstenen waaruit planeten ontstaan, kunnen van ster tot ster verschillen. En dat leerden we niet door een ruimtesonde lichtjaren ver te sturen, maar door een verdwaald fragment van een ander stelsel op te vangen terwijl het langs ons kwam en zijn water te lezen voordat het weer verdween.

Heldere samenvatting

3I/ATLAS is het derde bekende interstellaire object en de tweede actieve interstellaire komeet — een stuk van een ander planetenstelsel dat één keer door het onze trekt. Met ALMA, rond de dichtste passage langs de zon, detecteerden astronomen zwaar water (HDO) en methanol in de coma maar geen gewoon water, en daaruit leidden ze de verhouding deuterium/waterstof in het water af. Die is sterk met deuterium verrijkt: een ondergrens boven 6.6×10^{-3} , ongeveer 40 keer de oceanen op aarde en 30 keer een typische komeet in het zonnestelsel. Dat wijst op water dat onder koudere en minder thermisch verwerkte omstandigheden ontstond dan het water van onze kometen. Het getal is een indirect verkregen, modelafhankelijke ondergrens, geen rechtstreekse meting. Het kan niet zeggen of de verrijking uit een koude geboortewolk werd geërfd of later in een koude schijf is vastgelegd, en evenmin waar de komeet vandaan kwam. Toch is dit de eerste meting van deze specifieke chemische vingerafdruk in water van materiaal rond een andere ster — en die vingerafdruk is niet de onze.

Zonder omwegen

Wat het artikel laat zien: Uit ALMA-waarnemingen van de interstellaire komeet 3I/ATLAS nabij het perihelium volgt een ondergrens voor de D/H-verhouding in het water van $>6.6 \times 10^{-3}$ (conservatief scenario) — ongeveer $40\times$ de oceanen op aarde en $30\times$ een typische komeet in het zonnestelsel — wat wijst op water dat onder duidelijk koudere, minder thermisch verwerkte omstandigheden is gevormd dan het water in kometen uit ons zonnestelsel. Een onafhankelijke JWST-analyse wijst dezelfde kant op.

Wat aannemelijk is maar niet bewezen: Dat de verrijking rechtstreeks is geërfd van een koude pre-stellaire wolk, tegenover een verhouding die tijdens de vorming van de komeet in een koude proto-planetaire schijf werd vastgelegd. Beide scenario's passen; de data maken geen onderscheid.

Wat het niet laat zien: Iets over leven, technologie of kunstmatige oorsprong; een precieze D/H-waarde (het is een ondergrens); de identiteit of locatie van de moederster; het specifieke mechanisme achter de hoge D/H-verhouding; of dat dit resultaat van één epoch immuun is voor variatie in de coma.

Belangrijkste beperkingen: H_2O werd niet rechtstreeks gedetecteerd, dus de hoeveelheid water — en daarmee de D/H-verhouding — wordt indirect afgeleid uit methanolexcitatie, onder de aanname dat water de dominante botsingspartner is en met benaderde botsingssnelheden die de auteurs zelf slecht begrensd noemen; het resultaat is een modelafhankelijke grens uit één waarneemepoch; het moederstelsel is niet te identificeren.

Hoeveel vertrouwen mag een algemene lezer hierin hebben? Hoog vertrouwen dat het water van 3I/ATLAS echt sterk deuteriumrijk is en kouder is gevormd dan het water van onze kometen, en dat dit helemaal niets over buitenaards leven zegt. Matig vertrouwen in de exacte mate van verrijking, omdat die een modelafhankelijke ondergrens is. Weinig vertrouwen in de specifieke oorzaak en geboorteplaats, want die blijven open. De gepaste houding: stille verwondering over een chemische ansichtkaart uit een ander sterrenstelsel — geen mysterie, en geen ruimteschip.

Bronnen

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/>