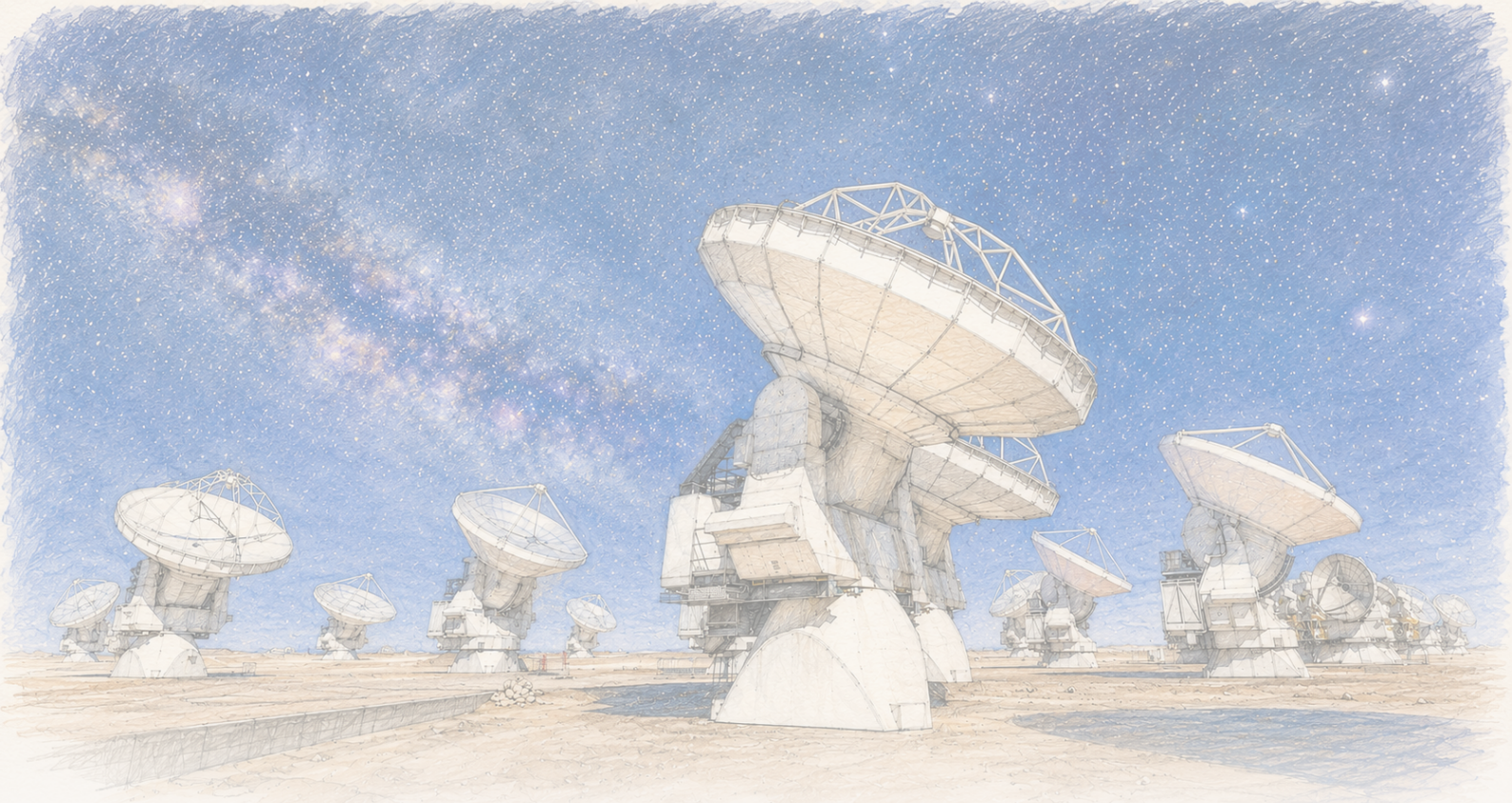




The CLEAN PAPER

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

Den interstellare kometen 3I/ATLAS bærer vann som ble dannet under kaldere forhold enn vannet i våre kometer — en første kjemisk avlesning av et annet planetsystem

Med ALMA avgrenset astronomer forholdet mellom «tungt» og vanlig hydrogen i vannet til 3I/ATLAS — det tredje kjente interstellare objektet — og fant at det var kraftig anriket med deuterium: minst omtrent 40 ganger jordens hav og 30 ganger en typisk komet i solsystemet. Det peker mot vann som ble dannet under kaldere forhold enn vannet i våre kometer. Resultatet er en nedre grense som er utledet indirekte (selv vannet ble aldri oppdaget direkte), og det sier ingenting om liv eller teknologi — bare om kjemi og kulde.

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



DV-59-antennen i forgrunnen, med flere ALMA-antenner som observerer den månebelyste nattehimmelen.
Foto: Alex Pérez / ALMA Observatory.

Alex Pérez / ALMA Observatory CC BY 4.0

En komet fra en annen stjerne, og fingeravtrykket i vannet

En gang iblant faller noe gjennom solsystemet som aldri har tilhørt oss. Ikke en bortkommen stein fra asteroidebeltet, ikke en komet som svinger tilbake fra Oorts sky i sitt lange bånd, men et objekt i en åpen, hyperbolsk bane — et som kom inn fra det interstellare rommet, tar én runde rundt solen og forlater oss for alltid. Vi har nå sett tre. Den første, ‘Oumuamua i 2017, var nesten borte før noen var enige om hva den hadde vært. Den andre, 2I/Borisov i 2019, var umiskjennelig en komet. Den tredje, som ble oppdaget i juli 2025, er 3I/ATLAS — og den ankom innhyllet i en koma som var aktiv nok til at man kunne drive ordentlig kjemi på den.

Her er den delen det er verdt å holde fast ved før støyen setter inn. En interstellar komet er bokstavelig talt en bit av et annet planetsystem: is og støv som kondenserte rundt en annen stjerne, mest sannsynlig ble slynget ut av et gravitasjonelt spark for lenge siden, drev gjennom galaksen og tilfeldigvis passerte nær nok solen vår til at isen begynte å koke bort akkurat der teleskopene våre kunne følge med. Det er det virkelig bemerkelsesverdige faktumet, og det er forbløffende nok uten hjelp.

Likevel pleier det å få hjelp. Interstellare objekter tiltrekker seg en særegen form for andpusten

dekning — dempet belysning, et *men tenk om noen bygde det* — og 3I/ATLAS fikk sin del. Det ærlige svaret på spørsmålet er det kjedelige, og det kjedelige er mer interessant: Det er en komet. Det virkelige spørsmålet var aldri om noen hadde laget den. Det var det stillere spørsmålet — hvis du kunne lese kjemien i noe som var satt sammen rundt en annen stjerne, hva ville den fortelle deg om familien til denne stjernen? Og hvordan skulle du i det hele tatt lese den?

Avlesningsinstrumentet er denne gangen vann. Vann er to hydrogenatomer og ett oksygenatom, men en liten andel av hydrogenet er *deuterium* — en tyngre tvilling, et vanlig hydrogenatom med ett ekstra nøytron. Forholdet mellom tungt og vanlig hydrogen i vann, skrevet D/H, er ikke tilfeldig. Det bestemmes gjennom kjemien i stor grad av hvor kaldt det var der vannet først ble dannet: Jo kaldere og roligere vuggen var, desto mer deuterium blir låst inn. Og fordi en komet i praksis er en dypfryser — en som kan oppbevare isen sin kaldt i milliarder av år — kan D/H-forholdet i vannet bevare et fingeravtrykk av forholdene det ble dannet under.

Vi kjenner fingeravtrykkene i vårt eget system rimelig godt: Jordens hav og de ulike familiene av kometer i solsystemet samler seg i et forholdsvis smalt område. Det ingen noensinne hadde klart å fastslå, var det samme fingeravtrykket for vann som ble dannet rundt *en annen* stjerne. Det var dette forskningsartikkelen tok sikte på å lese av i 3I/ATLAS.

Hva forfatterne gjorde

De rettet ALMA — det store anlegget av radioteleskoper i den chilenske ørkenen — mot 3I/ATLAS 4. november 2025, seks dager etter at kometen rundet solen. De stilte det inn for å fange den svake gløden ved millimeterbølgelengder fra tre molekyler i komaen: vanlig vann (H_2O), *tungt* vann (HDO, der ett av hydrogenatomene er deuterium) og metanol (CH_3OH).

D/H-forholdet de var ute etter, er i praksis forholdet mellom tungt og vanlig vann. De trengte altså begge deler. Deretter sendte de spektrene gjennom en strålingsoverføringsmodell for en ekspanderende kometatmosfære (en kode kalt SUBLIME) og tilpasset den med samme type statistiske maskineri som brukes til å finne sammensetningen av atmosfærene til eksoplaneter, for å trekke ut temperaturen, utstrømningen og hvor mye kometen produserte av hvert molekyl.

En hake former alt som følger: **De oppdaget faktisk ikke vannet.** HDO og metanol dukket opp; H_2O selv forble under støyen. Det skyldes ikke mangel på vanlig vann — det finnes langt mer av det enn av den tunge varianten. Om en spektrallinje dukker opp, avhenger ikke bare av hvor mye av molekylet som er til stede, men også av hvor observerbar akkurat denne linjen tilfeldigvis er, og to ting virker mot vannlinjen her. Det første er atmosfæren: H_2O -linjen de kunne sikte seg inn på (nær 183 GHz), ligger akkurat der jordens egen vannholdige luft absorberer aller kraftigst, så å lese vannet i en komet der fra bakken er litt som å prøve å se et stearinlys gjennom tåke — artikkelen påpeker at disse lavenergibåndene for vann utsettes for sterk atmosfærisk absorpsjon, mens linjen for tungt vann (HDO) nær 241 GHz ligger i et renere vindu. Det andre er følsomheten: Vannkanalen var langt mer støyende — omtrent 500 mJy per stråle mot 21 for HDO — så selv et sterkt signal kunne ligge skjult under den. Mellom tåken og støyen forble det rikelige vanlige vannet under terskelen, mens det mye sjeldnere tunge vannet, fanget i et rent og stille vindu, dukket tydelig opp. (Fra rommet, over atmosfæren,

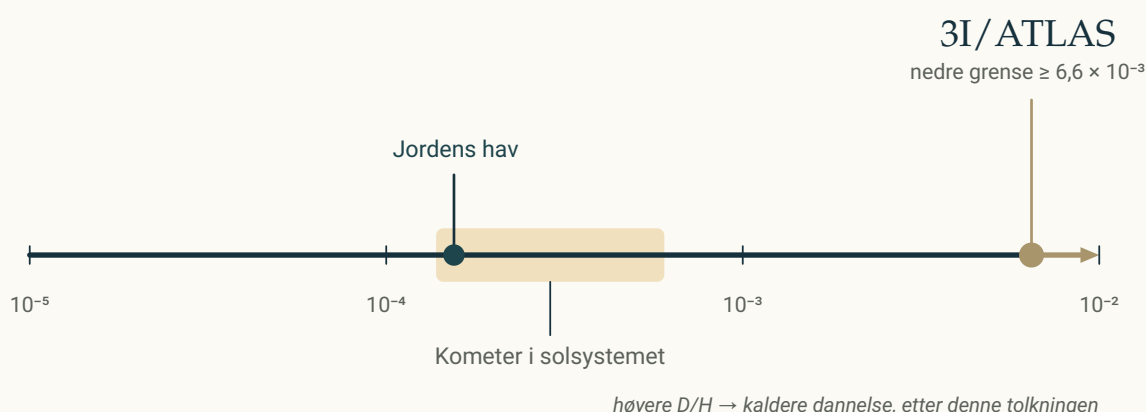
er det samme vannet langt enklere å se: JWST oppdaget senere kometens vann i infrarødt, etter perihelium — så ALMAs manglende deteksjon handler om denne ene linjen gjennom jordens luft, ikke om at vann var fraværende.) Mengden vanlig vann måtte derfor utledes *indirekte* — hovedsakelig fra hvordan metanollinjene ble eksitert, noe som avhenger av hvor ofte metanolmolekyler kolliderer med vann. Det er en reell måling, men en modellavhengig måling, og forfatterne er tydelige på dette.

Hva de fant

- **Tungt vann, men ikke vanlig vann.** HDO og flere metanollinjer ble tydelig oppdaget; H₂O ble det ikke. Fordi D/H-forholdet hviler på en *øvre grense* for produksjonsraten av vanlig vann — behandlet slik med hensikt, siden selve vannlinjen forble under støyen — blir deuteriumforholdet en **nedre grense**, ikke én enkelt verdi.
- **En kraftig deuteriumanrikning.** I det konservative scenarioet deres er D/H-forholdet i vannet **større enn** $6,6 \times 10^{-3}$ — mer enn omtrent **40 ganger** verdien i jordens hav og mer enn omtrent **30 ganger** verdien i en typisk komet i solsystemet. Med begge anslagene deres ligger 3I/ATLAS helt i den øvre enden av alle D/H-målinger i vann som hittil er gjort.
- **Det er sannsynligvis ikke et tilfeldig utslag fra denne ene natten.** Målingen er fra én enkelt epoke, men en foreløpig gjennomgang av nærliggende ALMA-data viser ingen store svingninger fra dag til dag, og en uavhengig JWST-analyse av 3I/ATLAS, utført mer enn en måned senere, peker i samme retning — deuteriumrikt vann.

Hvor vannet i 3I/ATLAS ligger på deuteriumskalaen

D/H-forhold i vann — logaritmisk skala



Hvor vannet i 3I/ATLAS ligger på deuteriumskalaen: langt mot den deuteriumrike enden, forbi jordens hav og hele kometpopulasjonen i solsystemet (her vist som et omtrentlig område). Pilen markerer en *nedre grense* — den virkelige verdien kan være høyere. Et høyt D/H-forhold er et spor etter *kaldte dannelsesforhold*, ikke en hjemmeadresse.

Hva dette sannsynligvis betyr

Et høyt D/H-forhold i vann er kjennetegnet på vann som frøs der det var svært kaldt (under omtrent 30 K), og som ikke senere ble kraftig omarbeidet av varme. Den enkleste tolkningen er derfor at vannet i 3I/ATLAS ble dannet under *kaldere og mer skånsomme* forhold enn vannet i kometene i vårt eget solsystem — og dermed at planetsystemet det kom fra, bygde opp isen sin på en annen måte enn vårt.

Forfatterne er forsiktige med neste trinn, og det bør vi også være. Det finnes to måter å få vann som er så rikt på deuterium, og denne målingen kan ikke skille mellom dem: Vannet kan ha *arvet* anrikningen fra den kalde skyen systemet ble født i, eller den kan ha blitt fastlagt senere, mens kometen ble dannet i en kald ytre skive. Uansett står konklusjonen som betyr noe, ved lag — forholdene som formet 3I/ATLAS, var ikke de samme som formet våre kometer — men spørsmålet om *hvorfor* står åpent.

Dette er altså første gang noen har lest fingeravtrykket fra vanddannelse i materiale fra et annet planetsystem og funnet at det ikke samsvarer med vårt eget.

Hva dette ikke beviser

- Det sier **ingenting** om liv, teknologi eller hensikt. Det finnes ikke noe «det» som ble bygget; «interstellar» beskriver en bane, ikke en opprinnelseshistorie. Dette er en måling av vannkjemi.
- Det er **ikke** en presis D/H-verdi. Det er en *nedre grense*, og vannet den gjelder, ble aldri oppdaget direkte — forekomsten ble utledet fra eksitasjonen av et annet molekyl, metanol, under antakelsen om at vann er det metanolen hovedsakelig støter bort.
- Det avslører **ikke** hvor 3I/ATLAS ble født. Moderstjernen kan ikke identifiseres pålitelig, og et høyt D/H-forhold er et spor etter *forhold*, ikke en hjemmeadresse.
- Det avgjør **ikke** *hvorfor* vannet er rikt på deuterium. «Arvet fra en kald fødselssky» og «fastlagt under skivedannelsen» passer begge med dataene; artikkelen velger ikke mellom dem.
- Det er **ett** objekt, målt ved **én** epoke. Bekreftelsen er oppmuntrende, ikke en lang tidsserie.

Hvor sterke er bevisene?

To ting bør vurderes hver for seg: retningen på resultatet og det nøyaktige tallet.

- **Retningen er robust.** At vannet i 3I/ATLAS er markant rikt på deuterium, er en konservativ nedre grense, ligger godt over hele kometpopulasjonen i solsystemet og støttes av en uavhengig JWST-analyse. Denne delen er ikke skjør.
- **Tallet hviler på en modelleringskjede.** Fordi H₂O ikke ble oppdaget, bygger vannmengden — og dermed D/H-forholdet — på at vann utledes indirekte fra metanoleksitasjon. Det forutsetter at vann er den dominerende kollisjonspartneren i komaen (rimelig nær perihelium, men et bidrag

fra CO₂ kan ikke utelukkes) og bruker omtrentlige og etter eget utsagn dårlig avgrensede kollisjon-rater. Forfatterne påpeker alt dette og oppgir med hensikt resultatet som en grense i stedet for en måling.

- **Tolkningen er godt begrunnet, men ikke entydig.** Kald dannelse er den naturlige forklaringen på høy D/H; om denne kulden ble arvet eller oppsto senere, er uavklart, og opphavssystemet kan ikke identifiseres.

Kort sagt: At vannet ble dannet kaldt, står på solid grunn; nøyaktig *hvor* kaldt og nøyaktig *hvorfor* holdes ærlig åpent.

Hvorfor det er viktig

I flere tiår har spørsmålet om hvor vannet på jorden kom fra — og hva som fastsetter deuteriumfingeravtrykket i vann på tvers av planetsystemer som er under dannelse — blitt besvart utelukkende med målinger gjort i vårt eget solsystem. Dette er første gang det kartet er blitt utvidet til materiale som beviselig ble dannet rundt en annen stjerne.

Svaret er ikke «overalt er som hjemme». Det er det motsatte: Et annet system kan legge ned isen sin under forhold som er kalde nok til å etterlate et fingeravtrykk våre kometer aldri bar. Det er et lite, konkret bevis på noe stillferdig stort — at kjemien og historien til de faste stoffene som bygger planeter, kan variere fra én stjerne til den neste. Og det kom ikke fra et romfartøy sendt over lysår, men ved at vi fanget en bortkommen bit av et annet system idet den falt forbi, og leste vannet i den før den var borte.

Kort oppsummert

3I/ATLAS er det tredje kjente interstellare objektet og den andre aktive interstellare kometen — en bit av et annet planetsystem som passerer gjennom vårt én eneste gang. Ved hjelp av ALMA nær kometens nærmeste passering av solen oppdaget astronomer tungt vann (HDO) og metanol i komaen, men ikke vanlig vann, og ut fra dette utledet de vannets forhold mellom deuterium og hydrogen. De finner at det er kraftig anrikt med deuterium — en nedre grense over $6,6 \times 10^{-3}$, omtrent 40 ganger jordens hav og 30 ganger en typisk komet i solsystemet — noe som peker mot vann som ble dannet under kaldere, mindre bearbejdede forhold enn kometene i solsystemet. Tallet er en nedre grense som er utledet indirekte gjennom en modell, ikke en direkte måling, og det kan ikke si om anrikningen ble arvet fra en kald fødselssky eller fastlagt senere i en kald skive, og heller ikke hvor kometen kom fra. Det er likevel den første avlesningen av akkurat dette kjemiske fingeravtrykket i vann fra en annen stjerne — og fingeravtrykket samsvarer ikke med vårt.

Nøktern vurdering

Hva forskningsartikkelen viser: Fra ALMA-observasjoner av den interstellare kometen 3I/ATLAS nær perihelium, en nedre grense for D/H-forholdet i vannet på $>6,6 \times 10^{-3}$ (konservativt scenario) — omtrent $40\times$ jordens hav og $30\times$ en typisk komet i solsystemet — noe som innebærer vann som ble dannet under betydelig kaldere, mindre termisk bearbejdede forhold enn kometene i solsystemet. En uavhengig JWST-analyse er enig om retningen.

Hva som er rimelig, men ikke bevist: At anrikningen ble arvet direkte fra en kald prestellar sky, i motsetning til at den ble fastlagt mens kometen ble dannet i en kald protoplanetarisk skive. Begge scenarioene passer; dataene skiller ikke mellom dem.

Hva den ikke viser: Noe om liv, teknologi eller kunstig opprinnelse; en presis D/H-verdi (det er en nedre grense); identiteten eller plasseringen til moderstjernen; den spesifikke mekanismen bak den høye D/H-verdien; eller at dette resultatet fra én epoke er immunt mot variasjoner i komaen.

Viktigste begrensninger: H_2O ble ikke oppdaget direkte, så vannmengden — og dermed D/H-forholdet — utledes indirekte fra metanoleksitasjon, under antakelsen om at vann er den dominerende kollisjonspartneren og med omtrentlige kollisjonsrater som forfatterne kaller dårlig avgrensede; resultatet er en modellavhengig grense fra én enkelt epoke; opphavssystemet kan ikke identifiseres.

Hvor stor tillit bør en allmenn leser ha? Stor tillit til at vannet i 3I/ATLAS virkelig er rikt på deuterium og ble dannet kaldere enn vannet i kometene våre, og til at dette overhodet ikke sier noe om romvesener. Moderat tillit til den nøyaktige graden av anrikning, som er en modellavhengig nedre grense. Lav tillit til den spesifikke årsaken og fødestedet, som fortsatt er åpne spørsmål. Passende holdning: stille undring over et kjemisk postkort fra et annet stjernesystem — ikke et mysterium og ikke et romskip.

Kilder

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/>