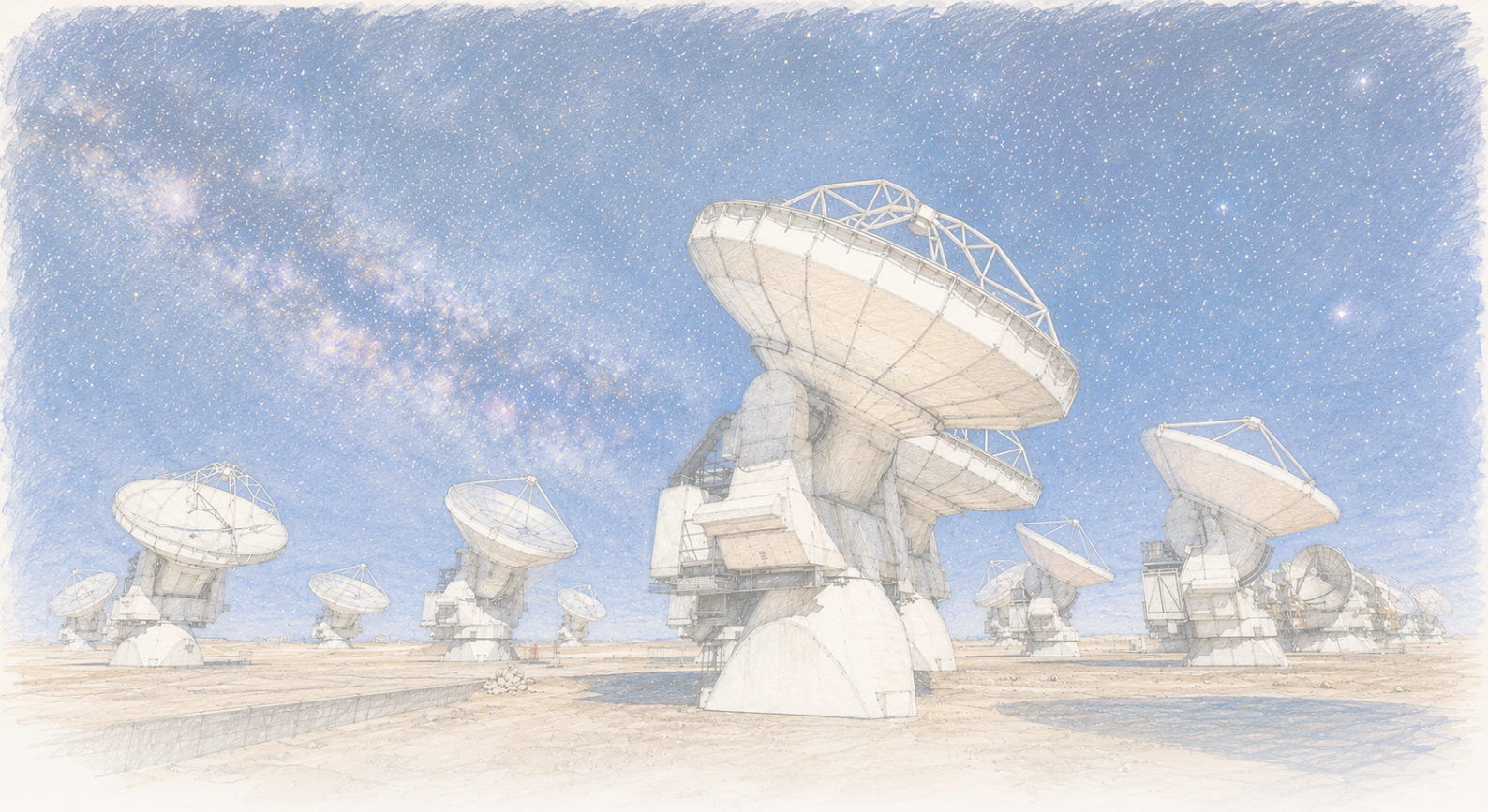




The CLEAN PAPER

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

Den interstellära kometen 3I/ATLAS bär på vatten som bildades under kallare förhållanden än vattnet i våra kometer — en första kemisk avläsning av ett annat planetsystem

Med ALMA begränsade astronomer förhållandet mellan "tungt" och vanligt väte i vattnet hos 3I/ATLAS — det tredje kända interstellära objektet — och fann att det var kraftigt anriktat med deuterium: minst omkring 40 gånger jordens oceaner och 30 gånger en typisk komet i solsystemet. Det pekar på vatten som bildades under kallare förhållanden än vattnet i våra kometer. Resultatet är en nedre gräns som härletts indirekt (själva vattnet upptäcktes aldrig direkt), och det säger ingenting om liv eller teknik — bara om kemi och kyla.

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 förgrunden, med flera ALMA-antennor som observerar den månbelysta natthimlen. Foto: Alex Pérez / ALMA Observatory.

Alex Pérez / ALMA Observatory CC BY 4.0

En komet från en annan stjärna och fingeravtrycket i dess vatten

Då och då faller något genom solsystemet som aldrig har tillhört oss. Inte en kringirrande sten från asteroidbältet, inte en komet som svänger tillbaka från Oorts kometmoln i sitt långa koppel, utan ett objekt på en öppen, hyperbolisk bana – ett som kom från den interstellära rymden, gör ett enda varv runt solen och sedan försvinner för alltid. Vi har nu sett tre. Den första, 'Oumuamua 2017, var nästan borta innan någon ens var överens om vad den hade varit. Den andra, 2I/Borisov 2019, var otvetydigt en komet. Den tredje, som upptäcktes i juli 2025, är 3I/ATLAS – och den anlände insvept i en så aktiv koma att det gick att bedriva verklig kemi på den.

Här är den del som är värd att hålla fast vid innan oväsendet börjar. En interstellär komet är bokstavligen en flisa av ett annat planetsystem: is och stoft som kondenserade runt någon annan stjärna, sannolikt slungades ut av en gravitationell knuff för länge sedan, drev genom galaxen och råkade passera tillräckligt nära vår sol för att dess isar skulle börja koka bort precis där våra teleskop kunde se på. Det är det verkligt anmärkningsvärda faktumet, och det är häpnadsväckande nog utan hjälp.

Ändå brukar det få hjälp. Interstellära objekt lockar till sig ett särskilt slags andlös rapportering — dämpad belysning, ett *men tänk om någon byggde det* — och 3I/ATLAS fick sin beskärda del. Det ärliga svaret på den frågan är det tråkiga, och det tråkiga är mer intressant: det är en komet. Den verkliga frågan var aldrig om någon hade tillverkat den. Det var den stillsammare frågan — om man kunde läsa kemin i något som satts samman runt en annan stjärna, vad skulle den då berätta om den stjärnans familj? Och hur skulle man ens läsa den?

Avläsningsinstrumentet är den här gången vatten. Vatten består av två väteatomer och en syreatom, men en liten andel av dess väte är *deuterium* — en tyngre tvilling, en vanlig väteatom med en extra neutron. Förhållandet mellan tungt och vanligt väte i vatten, skrivet D/H, är inte slumpmässigt. Det bestäms genom kemin till stor del av hur kallt det var där vattnet först bildades: ju kallare och stillsammare vaggan var, desto mer deuterium låses in. Och eftersom en komet i praktiken är en djupfrys — en som kan hålla sina isar i kylförvaring i miljarder år — kan D/H-förhållandet i dess vatten bevara ett fingeravtryck av de förhållanden under vilka vattnet bildades.

Vi känner vårt eget systems fingeravtryck ganska väl: jordens oceaner och solsystemets olika kometfamiljer samlas inom ett relativt smalt intervall. Vad ingen någonsin hade kunnat fastställa var motsvarande fingeravtryck för vatten som bildats runt *en annan* stjärna. Det var detta forskningsartikeln försökte läsa av i 3I/ATLAS.

Vad författarna gjorde

De riktade ALMA — den stora samlingen radioteleskop i den chilenska öknen — mot 3I/ATLAS den 4 november 2025, sex dagar efter att kometen hade rundat solen. De ställde in det för att fånga det svaga millimetervågiga skenet från tre molekyler i koman: vanligt vatten (H_2O), *tungt* vatten (HDO, där en av väteatomerna är deuterium) och metanol (CH_3OH).

D/H-förhållandet de sökte är i praktiken förhållandet mellan tungt och vanligt vatten. De behövde alltså båda. Därefter matade de spektrumen genom en strålningstransportmodell för en expanderande kometatmosfär (en kod som kallas *SUBLIME*) och anpassade den med samma slags statistiska maskineri som används för att bestämma sammansättningen hos exoplaneters atmosfärer, för att få fram temperaturen, utflödet och hur mycket kometen producerade av varje molekyl.

En hake präglar allt som följer: **de upptäckte faktiskt inte vattnet**. HDO och metanol syntes; H_2O självt låg kvar under bruset. Det beror inte på brist på vanligt vatten — det finns mycket mer av det än av den tunga sorten. Om en spektrallinje framträder beror inte bara på hur mycket av molekylen som finns, utan också på hur observerbar just den linjen råkar vara, och här motverkar två saker vattenlinjen. Den första är atmosfären: den H_2O -linje de kunde sikta på (nära 183 GHz) ligger precis där jordens egen vattenmättade luft absorberar som kraftigast, så att läsa en komets vatten där från marken är lite som att försöka se ett stearinljus genom dimma — artikeln påpekar att dessa lågenergiband för vatten utsätts för stark atmosfärisk absorption, medan linjen för tungt vatten (HDO) nära 241 GHz ligger i ett renare fönster. Den andra är känsligheten: vattenkanalen var betydligt brusigare — omkring 500 mJy per stråle jämfört med 21 för HDO — så även en riklig signal kunde döljas under

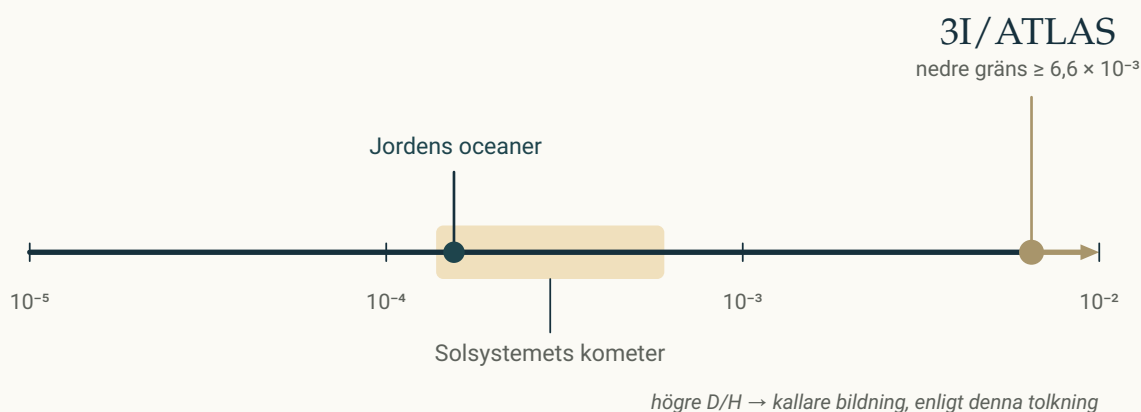
den. Mellan dimman och bruset blev det rikligt förekommande vanliga vattnet kvar under tröskeln, medan det mycket mer sällsynta tunga vattnet, fångat i ett rent och tyst fönster, framträdde tydligt. (Från rymden, ovanför atmosfären, är samma vatten mycket lättare att se: JWST upptäckte senare kometens vatten i infrarött, efter perihelium — ALMA:s uteblivna detektion gäller alltså denna enda linje genom jordens luft, inte att vatten saknades.) Mängden vanligt vatten måste därför härledas *indirekt* — främst från hur metanollinjerna exciterades, vilket beror på hur ofta metanolmolekyler kolliderar med vatten. Det är en verklig mätning, men den är modellberoende, och författarna är tydliga med det.

Vad de fann

- **Tungt vatten, men inget vanligt vatten.** HDO och flera metanollinjer upptäcktes tydligt; H₂O gjorde det inte. Eftersom D/H-förhållandet vilar på en *övre gräns* för produktionstakten av vanligt vatten — avsiktligt behandlad så eftersom själva vattenlinjen låg kvar under bruset — blir deuteriumförhållandet en **nedre gräns**, inte ett enskilt värde.
- **En kraftig deuteriumanrikning.** I deras konservativa scenario är vattnets D/H-förhållande **större än $6,6 \times 10^{-3}$** — mer än omkring **40 gånger** värdet för jordens oceaner och mer än omkring **30 gånger** värdet för en typisk komet i solsystemet. Med båda deras uppskattningar ligger 3I/ATLAS i den allra högsta änden av alla D/H-mätningar i vatten som hittills har gjorts.
- **Det är förmodligen ingen tillfällighet från just den natten.** Mätningen kommer från en enda epok, men en preliminär granskning av närliggande ALMA-data visar inga stora svängningar från dag till dag, och en oberoende JWST-analys av 3I/ATLAS, utförd mer än en månad senare, pekar åt samma håll — deuteriumrikt vatten.

Var 3I/ATLAS vatten ligger på deuteriumskalan

Vattnets D/H-förhållande — logaritmisk skala



Var 3I/ATLAS vatten ligger på deuteriumskalan: långt åt den deuteriumrika änden, bortom jordens oceaner och hela solsystemets kometpopulation (här visad som ett ungefärligt intervall). Pilen markerar en *nedre gräns* —

det verkliga värdet kan vara högre. Ett högt D/H-förhållande är en ledtråd till *kalla bildningsförhållanden*, inte en hemadress.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Vad detta sannolikt betyder

Ett högt D/H-förhållande i vatten är kännetecknet för vatten som frös där det var mycket kallt (under cirka 30 K) och som inte senare omarbetades kraftigt av värme. Den enklaste tolkningen är därför att vattnet i 3I/ATLAS bildades under *kallare, skonsammare* förhållanden än vattnet i vårt eget solsystems kometer — och därmed att dess ursprungliga planetsystem byggde upp sina isar på ett annat sätt än vårt.

Författarna är försiktiga med nästa steg, och det bör även vi vara. Det finns två sätt att få så här deuteriumrikt vatten, och den här mätningen kan inte skilja dem åt: vattnet kan ha *ärvt* sin anrikning från det kalla moln där systemet föddes, eller så kan den ha fastställts senare, när kometen bildades i en kall yttre skiva. Oavsett vilket består den viktiga slutsatsen — de förhållanden som formade 3I/ATLAS var inte de som formade våra kometer — men frågan om *varför* lämnas öppen.

Detta är alltså första gången någon har läst av fingeravtrycket från vattenbildning i material från ett annat planetsystem och funnit att det inte stämmer överens med vårt eget.

Vad detta *inte* bevisar

- Det säger **ingenting** om liv, teknik eller avsikt. Det finns inget "det" som byggdes; "interstellär" beskriver en bana, inte en ursprungsberättelse. Det här är en mätning av vattnets kemi.
- Det är **inte** ett exakt D/H-värde. Det är en *nedre gräns*, och det vatten som avses upptäcktes aldrig direkt — dess förekomst härleddes från excitationen av en annan molekyl, metanol, under antagandet att vatten är det som metanolen huvudsakligen stöter ihop med.
- Det avslöjar **inte** var 3I/ATLAS föddes. Moderstjärnan kan inte identifieras på ett tillförlitligt sätt, och ett högt D/H-förhållande är en ledtråd till *förhållanden*, inte en hemadress.
- Det avgör **inte** *varför* vattnet är deuteriumrikt. "Ärvt från ett kallt födelsemoln" och "fastställt under skivbildningen" passar båda med data; artikeln väljer inte mellan dem.
- Det är **ett** objekt, mätt vid **en** epok. Stödet är uppmuntrande, inte en lång tidsserie.

Hur starka är beläggen?

Två saker bör vägas var för sig: resultatets riktning och den exakta siffran.

- **Riktningen är robust.** Att vattnet i 3I/ATLAS är markant deuteriumrikt är en konservativ nedre

gräns, ligger väl över hela solsystemets kometpopulation och stöds av en oberoende JWST-analys. Den delen är inte bräcklig.

- **Siffran vilar på en modelleringskedja.** Eftersom H_2O inte upptäcktes bygger vattenmängden — och därmed D/H-förhållandet — på en indirekt härledning av vatten från metanolexcitation. Det förutsätter att vatten är den dominerande kollisionspartneren i koma (rimligt nära perihelium, men ett bidrag från CO_2 kan inte uteslutas) och använder ungefärliga och erkänt dåligt begränsade kollisionsfrekvenser. Författarna framhåller allt detta och anger avsiktligt resultatet som en gräns snarare än en mätning.
- **Tolkningen är välmotiverad men inte unik.** Kall bildning är den naturliga förklaringen till högt D/H; huruvida kylan ärvdes eller uppstod senare är olöst, och ursprungssystemet går inte att identifiera.

Kort sagt: att vattnet bildades i kyla står på fast grund; exakt *hur* kallt och exakt *varför* lämnas ärligt talat öppet.

Varför det spelar roll

I årtionden har frågan om varifrån jordens vatten kom — och vad som bestämmer vattnets deuteriumfingeravtryck i planetsystem som håller på att bildas — besvarats enbart med mätningar gjorda inom vårt eget solsystem. Det här är första gången som den kartan har utvidgats till material som bevisligen bildades runt en annan stjärna.

Svaret är inte ”överallt är som hemma”. Det är motsatsen: ett annat system kan lägga sina isar under tillräckligt kalla förhållanden för att lämna ett fingeravtryck som våra kometer aldrig bar. Det är ett litet, konkret belägg för något stillsamt stort — att kemin och historien hos de fasta ämnen som bygger planeter kan skilja sig från en stjärna till en annan. Och det kom inte från en rymdsond som skickats över ljusår, utan genom att fånga en kringirrande bit av ett annat system när den föll förbi och läsa dess vatten innan den försvann.

Kort sammanfattning

3I/ATLAS är det tredje kända interstellära objektet och den andra aktiva interstellära kometen — en bit av ett annat planetsystem som passerar genom vårt en enda gång. Med hjälp av ALMA nära kometens närmaste passage förbi solen upptäckte astronomer tungt vatten (HDO) och metanol i dess koma men inte vanligt vatten, och utifrån detta härledde de vattnets förhållande mellan deuterium och väte. De finner en kraftig deuteriumanrikning — en nedre gräns över $6,6 \times 10^{-3}$, ungefär 40 gånger jordens oceaner och 30 gånger en typisk komet i solsystemet — vilket pekar på vatten som bildades under kallare, mindre bearbetade förhållanden än solsystemets kometer. Siffran är en nedre gräns som erhållits indirekt genom en modell, inte en direkt mätning, och den kan inte avgöra om anrikningen ärvdes från ett kallt födelsemoln eller fastställdes senare i en kall skiva, och inte heller varifrån kometen kom. Trots det är detta den första avläsningen av just detta kemiska fingeravtryck

för vatten från en annan stjärna — och fingeravtrycket stämmer inte överens med vårt.

Rakt på sak

Vad forskningsartikeln visar: Från ALMA-observationer av den interstellära kometen 3I/ATLAS nära perihelium, en nedre gräns för vattnets D/H-förhållande på $>6,6 \times 10^{-3}$ (konservativt scenario) — omkring $40\times$ jordens oceaner och $30\times$ en typisk komet i solsystemet — vilket tyder på vatten som bildades under betydligt kallare och mindre termiskt bearbetade förhållanden än solsystemets kometer. En oberoende JWST-analys stämmer överens om riktningen.

Vad som är rimligt men inte bevisat: Att anrikningen ärvdes direkt från ett kallt prestellärt moln, i stället för att fastställas när kometen bildades i en kall protoplanetär skiva. Båda scenarierna passar; data skiljer dem inte åt.

Vad den inte visar: Något om liv, teknik eller artificiellt ursprung; ett exakt D/H-värde (det är en nedre gräns); moderstjärnans identitet eller plats; den specifika mekanismen bakom det höga D/H-värdet; eller att detta resultat från en enda epok är immunt mot variationer i kometen.

Huvudsakliga begränsningar: H_2O upptäcktes inte direkt, så vattenmängden — och därmed D/H-förhållandet — härleds indirekt från metanolexcitation, under antagandet att vatten är den dominerande kollisionspartner och med ungefärliga kollisionfrekvenser som författarna kallar dåligt begränsade; resultatet är en modellberoende gräns från en enda epok; ursprungssystemet går inte att identifiera.

Hur stor tilltro bör en allmän läsare ha? Stor tilltro till att vattnet i 3I/ATLAS verkligen är deuteriumrikt och bildades kallare än vattnet i våra kometer, och till att detta inte säger någonting alls om utomjordingar. Måttlig tilltro till den exakta anrikningsgraden, som är en modellberoende nedre gräns. Låg tilltro till den specifika orsaken och födelseplatsen, som förblir öppna frågor. Lämplig hållning: stillsam förundran inför ett kemiskt vykort från ett annat stjärnsystem — inte ett mysterium och inte ett rymdskepp.

Källor

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/>