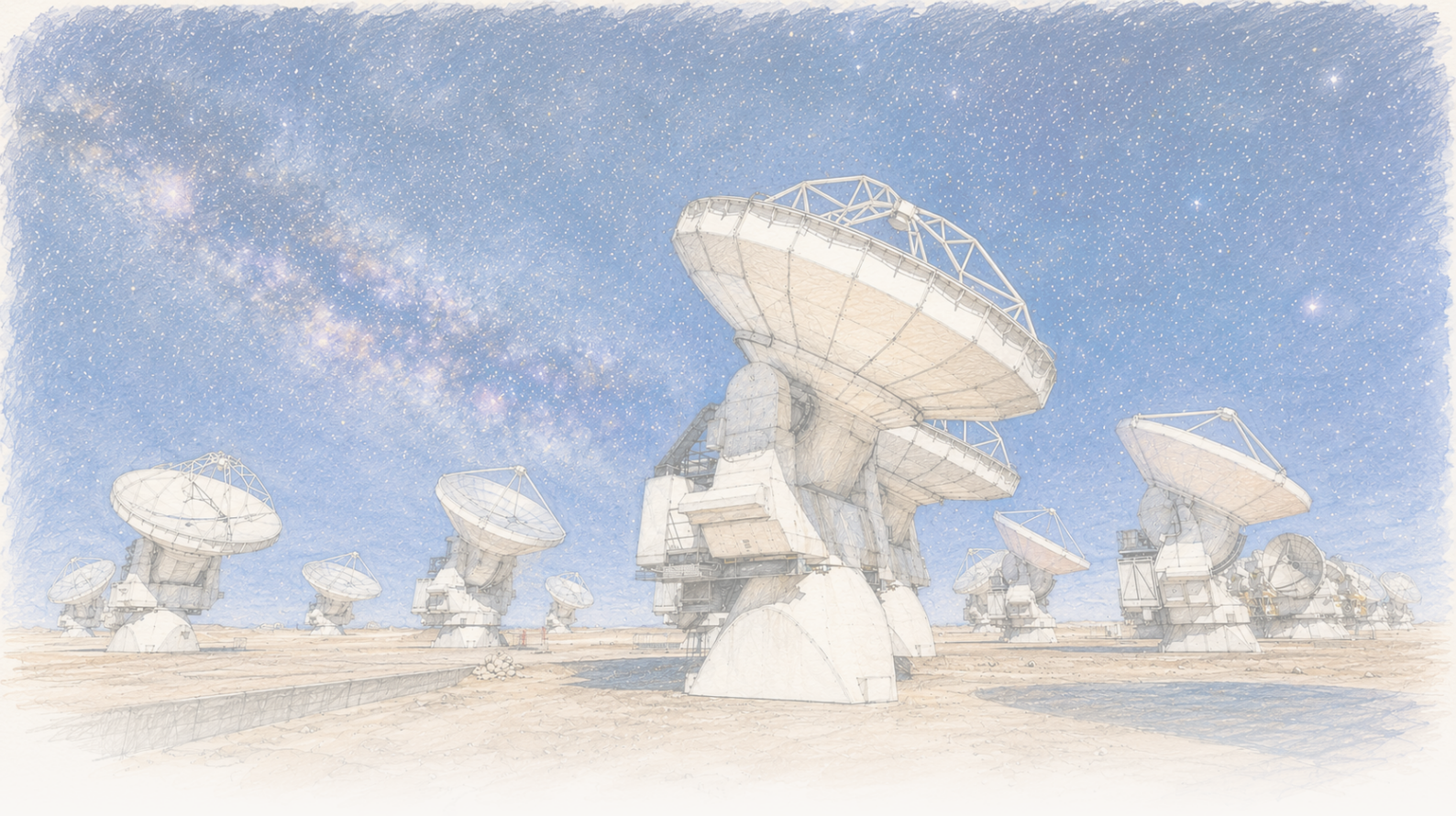




## *The* CLEAN PAPER

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

# Mezihvězdná kometa 3I/ATLAS nese vodu vzniklou v ještě větším chladu než voda našich komet

*Pomocí ALMA astronomové omezili poměr deuteria a vodíku ve vodě objektu 3I/ATLAS – třetího známého mezihvězdného návštěvníka – a zjistili silné obohacení deuteriem: nejméně zhruba čtyřicetinasobné oproti pozemským oceánům a třicetinasobné oproti typické kometě Sluneční soustavy. Naznačuje to vznik vody za ještě nižších teplot. Výsledkem je nepřímá odvozená dolní mez, protože běžná voda nebyla přímo detekována; nevypovídá nic o životě ani technologii, pouze o chemii a chladu.*

---

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Laura Nesso · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso  
· 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



Anténa DV-59 v popředí s četnými anténami ALMA za ní, které pozorují noční oblohu osvětlenou Měsícem.  
Fotografický kredit: Alex Pérez / observatoř ALMA.

Alex Pérez / ALMA Observatory CC BY 4.0

## Kometa z jiné hvězdné soustavy a stopa zaznamenaná v její vodě

Sluneční soustavou tu a tam proletí něco, co k ní nikdy nepatřilo. Ne zbloudilý úlomek z pásu asteroidů ani kometa vracející se po dlouhé dráze z Oortova oblaku, ale objekt na otevřené hyperbolické trajektorii – návštěvník z mezihvězdného prostoru, který jednou obletí Slunce a pak navždy zmizí. Zatím jsme viděli tři takové objekty. První, 'Oumuamua z roku 2017, zmizel téměř dřív, než se astronomové shodli, čím vlastně byl. Druhý, 2I/Borisov z roku 2019, byl nepochybně kometou. Třetí, objevený v červenci 2025, dostal označení 3I/ATLAS – a přiletěl s natolik aktivní kómou, že bylo možné skutečně zkoumat jeho chemii.

Než se objeví informační šum, je dobré si zapamatovat jednu věc. Mezihvězdná kometa je doslova střípkem jiného planetárního systému: led a prach, které kondenzovaly kolem jiné hvězdy, byly s největší pravděpodobností dávno vyvrženy gravitačními poruchami, unášely se galaxií a náhodou se dostaly dostatečně blízko k našemu Slunci, aby ledy sublimovaly právě tam, kde je naše teleskopy mohly pozorovat. To je skutečně pozoruhodný fakt – a dost úžasný bez jakýchkoli kudrlinek.

Přesto většinou nechybí příslušenství. Mezihvězdné objekty přitahují zvláštní druh thrillerového příběhu - tlumená světla a otázka *co kdyby to někdo postavil?* - a 3I/ATLAS na tom také dostal svůj slušný podíl. Upřímná odpověď je nudná a zajímavější: je to kometa. Skutečnou otázkou nikdy nebylo, zda to někdo dokázal. Bylo to mnohem klidnější: kdybychom mohli přechíst chemii materiálu vytvořeného kolem jiné hvězdy, co bychom se dozvěděli o jejím systému? A jak se vůbec dá takové čtení udělat?

Čtecím nástrojem je tentokrát voda. Molekula vody se skládá ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku, ale malou část vodíku tvoří *deuterium* – jeho těžší izotop, jehož jádro má kromě protonu také neutron. Poměr těžkého a běžného vodíku ve vodě, zapisovaný D/H, není náhodný. Chemie ho do značné míry určuje podle teploty v místě vzniku vody: čím chladnější a klidnější prostředí, tím více deuteria se do ní zachytí. Kometa je v podstatě hluboký mrazák schopný uchovávat led miliardy let. Poměr D/H v její vodě tak může zachovat stopu podmínek, za nichž voda vznikla.

Známe stopy naší soustavy docela dobře: pozemské oceány a různé rodiny komet Sluneční soustavy spadají do relativně úzkého rozmezí. Nikdy předtím však nebylo možné stanovit stejnou stopu pro vodu vytvořenou kolem *jiné* hvězdy. To se autoři příspěvku pokusili přechíst v 3I/ATLAS.

## Co autoři udělali

Dne 4. listopadu 2025, šest dní po průletu komety kolem Slunce, na ni astronomové zamířili soustavu ALMA, rozsáhlé pole radioteleskopů v chilské poušti. Přístroj naladili na slabé záření tří molekul v kómě v milimetrové oblasti: obyčejné vody ( $\text{H}_2\text{O}$ ), *těžké* vody ( $\text{HDO}$ , v níž je jeden atom vodíku nahrazen deuteriem) a metanolu ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ).

Hledaný poměr D/H je ve skutečnosti poměrem těžké a běžné vody, takže potřebovali obě veličiny. Spektra pak zpracovali modelem přenosu záření v rozpínající se kometární atmosféře, kódem SUBLIME, a přizpůsobili je statistickými metodami podobnými těm, které se používají k rekonstrukci složení atmosfér exoplanet. Tak určili teplotu, proudění plynu a rychlost produkce jednotlivých molekul.

Vše následující však určuje jeden háček: **obyčejnou vodu ve skutečnosti nedetekovali**.  $\text{HDO}$  a metanol byly viditelné, ale signál  $\text{H}_2\text{O}$  zůstal pod úrovní šumu. Ne proto, že by běžné vody bylo málo – je jí mnohem více než těžké vody. Viditelnost spektrální čáry závisí nejen na množství molekuly, ale i na pozorovatelnosti dané čáry, a zde hrály proti vodě dva faktory. Prvním byla atmosféra: dostupná čára  $\text{H}_2\text{O}$  poblíž 183 GHz leží právě tam, kde vodní pára v zemské atmosféře pohlcuje záření nejsilněji. Pozorovat na této frekvenci kometární vodu ze zemského povrchu je jako hledat svíčku v mlze. Čára těžké vody  $\text{HDO}$  poblíž 241 GHz naproti tomu leží v čistším atmosférickém okně. Druhým faktorem byla citlivost: vodní kanál byl mnohem hlučnější – přibližně 500 mJy na svazek oproti 21 mJy u  $\text{HDO}$  –, takže se pod šumem mohl skrýt i hojný signál. Obyčejná voda proto zůstala pod prahem detekce, zatímco mnohem vzácnější těžká voda byla v čistém a tichém okně jasně vidět. (Z vesmíru nad atmosférou se tatáž voda pozoruje mnohem snáz: JWST ji po perihéliu později zachytil v infračerveném oboru. Nedetekování přístrojem ALMA se tedy týká jediné čáry pozorované skrz zemskou atmosféru, nikoli nepřítomnosti vody.) Množství obyčejné vody proto

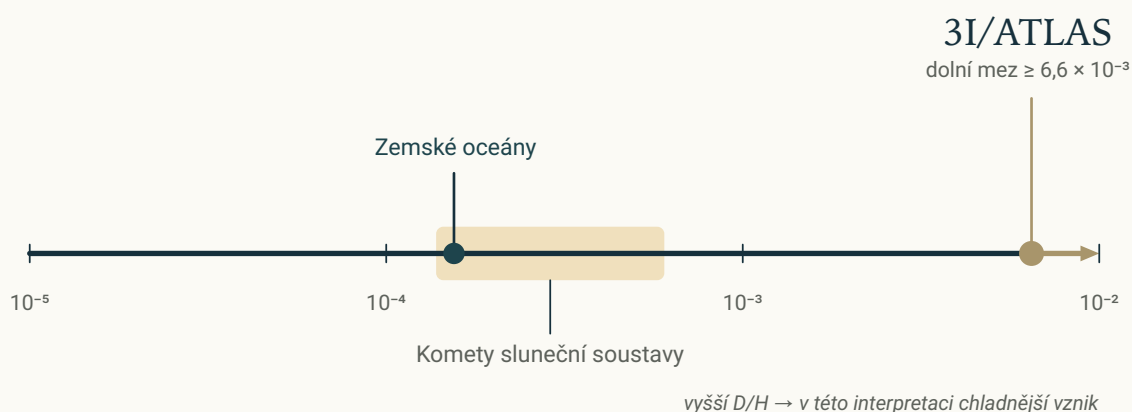
muselo být odvozeno *nepřímo*, především z excitace čar metanolu, která závisí na četnosti srážek molekul metanolu s vodou. Jde o skutečné měření, ale závislé na modelu, jak autoři výslovně uvádějí.

## Co objevili

- **Těžká voda, ale žádná běžná voda.** Bylo jasně detekováno HDO a několik linek metanolu, ale žádná H<sub>2</sub>O. Vzhledem k tomu, že poměr D/H vychází z *horní meze* rychlosti produkce běžné vody – záměrně takto stanovené, protože signál vody zůstal pod úrovní šumu –, je výsledkem pro obsah deuteria **dolní mez**, nikoli jediná hodnota.
- **Silné obohacení deuteriem.** V konzervativním scénáři je poměr D/H ve vodě **vyšší než  $6,6 \times 10^{-3}$**  - více než asi **40krát** více než v pozemských oceánech a více než asi **30krát** více než u typické komety sluneční soustavy. Podle obou použitých odhadů je 3I/ATLAS na samém horním konci všech dosavadních měření D/H vody.
- **Pravděpodobně se nejedná o jednu noc.** Měření pochází z jedné pozorovací epochy, ale předběžná analýza blízkých dat ALMA neukazuje žádné velké změny ze dne na den a nezávislá analýza 3I/ATLAS s JWST, provedená o více než měsíc později, ukazuje stejným směrem – voda bohatá na deuterium.

### Umístění vody 3I/ATLAS na stupnici deuteria

Poměr D/H ve vodě – logaritmická stupnice



Poloha vody 3I/ATLAS na stupnici obsahu deuteria: daleko na straně bohaté na deuterium, za pozemskými oceány i celou populací komet Sluneční soustavy (zde zobrazenou jako přibližný rozsah). Šipka označuje *dolní mez* – skutečná hodnota může být vyšší. Vysoký poměr D/H je známkou *chladných podmínek vzniku*, nikoli adresou původu.

## Co to pravděpodobně znamená

Vysoký poměr D/H ve vodě je stopa vody, která zmrzla při velmi nízké teplotě (pod asi 30 K) a následně nebyla příliš přeměněna teplem. Takže nejjednodušší čtení je, že voda v 3I/ATLAS byla vytvořena za *chladnějších a mírnějších* podmínek než voda v kometách ve Sluneční soustavě - a proto domovský planetární systém této komety vytvořil své ledy jinak než ten náš.

Autoři jsou s dalším krokem opatrní a my bychom také měli. Toto silné obohacení deuteriem může vzniknout dvěma způsoby, které toto měření nerozlišuje: voda by mohla *zdědit* obohacení z chladného mraku, který zrodil systém, nebo ho mohla získat později při formování komety ve studeném vnějším disku. V obou případech zůstává základní závěr stejný - podmínky, které formovaly 3I/ATLAS, byly jiné než ty, které formovaly naše komety - ale otázka *proč* zůstává otevřená.

Poprvé byla přečtena stopa podmínek vzniku vody ve hmotě z jiné planetární soustavy a bylo zjištěno, že neodpovídá té naší.

## Co to nedokazuje

- Výsledek neříká **nic** o životě, technologii ani záměru. Není tu žádný objekt, který by někdo postavil; slovo „mezihvězdný“ popisuje trajektorii, nikoli příběh původu. Jde o měření chemického složení vody.
- Toto není **přesná** hodnota D/H. Jde o *dolní mez* a samotná běžná voda nebyla přímo detekována - její množství bylo odvozeno z excitace jiné molekuly, metanolu, za předpokladu, že voda je jeho hlavním srážkovým partnerem.
- Výsledek **neodhaluje**, kde 3I/ATLAS vznikl. Mateřskou hvězdu nelze spolehlivě určit a vysoký poměr D/H vypovídá o *podmínkách*, nikoli o místě původu.
- Neřeší, *proč* je voda bohatá na deuterium. Datům odpovídá jak obohacení „zdeděné z chladného mateřského oblaku“, tak obohacení „vzniklé během formování disku“; práce mezi těmito možnostmi nerozhoduje.
- Je to **jeden** objekt měřený v **jedné** epoše. Dodatečné potvrzení je povzbudivé, ale nenahrazuje dlouhou řadu pozorování.

## Jak silné jsou důkazy?

Směr výsledku a přesné číslo je třeba posuzovat samostatně.

- **Směr výsledku je robustní.** Výrazné obohacení vody 3I/ATLAS deuteriem vychází už z konzervativní dolní meze, leží vysoko nad celou populací komet Sluneční soustavy a podporuje je nezávislá analýza JWST. Tato část závěru není křehká.
- **Číselná hodnota stojí na modelovacím řetězci.** Protože H<sub>2</sub>O nebyla detekována, závisí množství vody - a tím i poměr D/H - na nepřímém odvození z excitace metanolu. Model předpokládá,

že voda je v kómě dominantním srážkovým partnerem, což je poblíž perihélia věrohodné, ačkoli nelze vyloučit příspěvek CO<sub>2</sub>. Používá také přibližné a podle autorů nedostatečně omezené srážkové koeficienty. Autoři tato omezení výslovně uvádějí a záměrně hlásí mez, nikoli naměřenou bodovou hodnotu.

- **Výklad je dobře odůvodněný, ale nejednoznačný.** Přirozeným vysvětlením vysoké D/H je tvorba za studena; není však známo, zda nízká teplota byla dědictvím dřívějšího oblaku, nebo se vyskytla později, a mateřský systém nelze identifikovat.

Stručně řečeno: závěr, že voda vznikla za studena, má pevné základy; přesně *jak* byla zima a *proč*, upřímně zůstává otevřenou otázkou.

## Proč je to důležité

Po desetiletí byly otázky o původu pozemské vody a faktorech určujících její deuteriovou stopu ve vznikajících planetárních systémech zodpovězeny pouze na základě měření z naší sluneční soustavy. Poprvé byl diagram rozšířen na materiál, který se nepochybně vytvořil kolem jiné hvězdy.

Odpověď není: “všude je to jako my.” Opak je pravdou: jiný systém může vytvářet ledy v podmínkách tak chladných, že zanechávají otisk, který naše komety nezanechávají. Toto je malý, konkrétní důkaz něčeho diskrétně obrovského - chemie a historie pevných látek, které tvoří planety, se mohou u každé hvězdy lišit. Nedoručila ho kosmická loď vyslaná na světelné roky daleko, ale náhodný fragment jiného systému, který proletěl kolem nás a jehož vodu jsme byli schopni přechíst, než zmizel.

## Stručné shrnutí

3I/ATLAS je třetím známým mezihvězdným objektem a druhou aktivní mezihvězdnou kometou – úlomkem jiného planetárního systému, který tím naším proletí jen jednou. Astronomové pomocí ALMA poblíž perihélia detekovali v kómě těžkou vodu (HDO) a metanol, nikoli však obyčejnou vodu, a z těchto dat odvodili poměr deuteria a vodíku ve vodě. Ta je deuteriem silně obohacená: dolní mez přesahuje  $6,6 \times 10^{-3}$ , tedy asi čtyřicetinasobek hodnoty pozemských oceánů a třicetinasobek typické komety Sluneční soustavy. To ukazuje na vodu vzniklou v chladnějších a méně tepelně zpracovaných podmínkách než voda našich komet. Číslo je modelově odvozenou dolní mezí, nikoli přímým měřením. Neurčuje, zda bylo obohacení zděděno z chladného mateřského oblaku, nebo vzniklo později v chladném disku, ani odkud kometa pochází. Přesto jde o první přechtení této konkrétní chemické stopy ve vodě z jiného hvězdného systému – a stopa se od té naší liší.

# Kontrola bez příkras

**Co práce ukazuje:** Na základě pozorování mezihvězdné komety 3I/ATLAS poblíž perihélia, kterou provedla ALMA, byla stanovena spodní hranice poměru D/H v její vodě:  $>6,6 \times 10^{-3}$  v konzervativním scénáři, což je asi 40krát více než v pozemských oceánech a 30krát vyšší než u typické komety. To znamená, že voda vznikla ve výrazně chladnějších, méně tepelně zpracovaných podmínkách než voda komet ve Sluneční soustavě. Nezávislá analýza JWST potvrzuje směr výsledku.

**Co je pravděpodobné, ale neprokázané:** Že obohacení bylo zděděno přímo z chladného předhvězd-  
ného oblaku, nebo že bylo založeno během formování komety ve studeném protoplanetárním disku.  
Oba scénáře se hodí; data je nerozlišují.

**Co práce neukazuje:** Nic o životě, technologii ani umělém původu; přesnou hodnotu D/H, protože jde o dolní mez; totožnost ani polohu mateřské hvězdy; konkrétní mechanismus vysokého D/H; ani to, že výsledek z jediné epochy nemohla ovlivnit proměnlivost kómy.

**Hlavní omezení:** H<sub>2</sub>O nebyla detekována přímo, takže množství vody – a tedy poměr D/H – bylo odvozeno nepřímou z excitace metanolu, za předpokladu, že voda je dominantním srážkovým partnerem, a pomocí přibližných srážkových koeficientů, které sami autoři považují za málo omezené. Výsledkem je na modelu závislá mez z jediné epochy; mateřskou planetární soustavu nelze určit.

**Jak velkou důvěru by měl mít čtenář?** Vysokou v závěr, že voda 3I/ATLAS je skutečně bohatá na deuterium, vznikla v chladnějších podmínkách než voda našich komet a výsledek nemá nic společného s mimozemšťany. Střední v přesnou míru obohacení, protože jde o dolní mez závislou na modelu. Nízkou v konkrétní příčinu a místo vzniku, které zůstávají neznámé. Správný postoj: tichý úžas nad chemickou pohlednicí z jiného hvězdného systému – nikoli záhada ani vesmírná loď.

---

## Zdroje

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/>