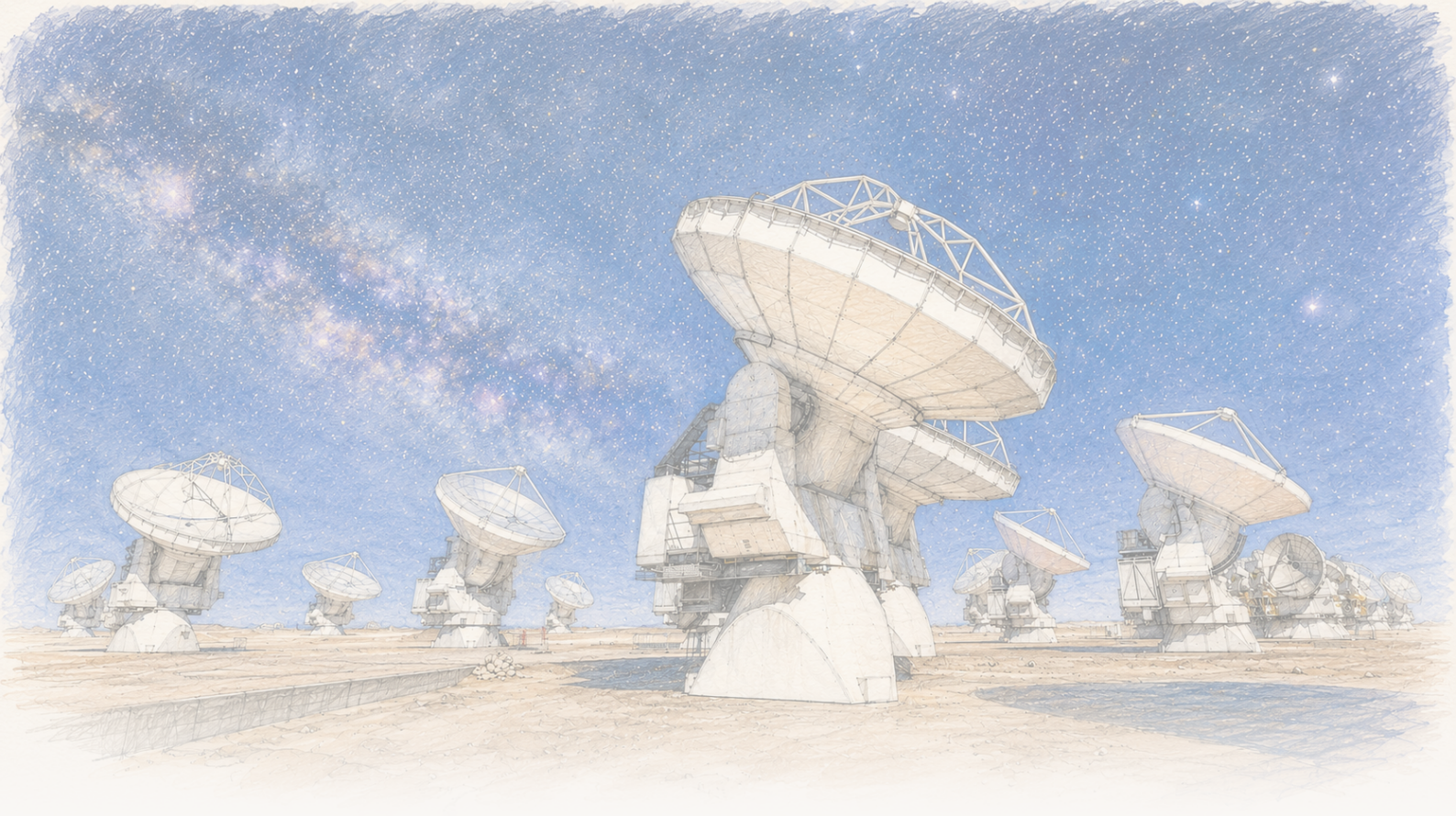




The CLEAN PAPER

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

Interstellar comet 3I/ATLAS-এর জল আমাদের comet-এর তুলনায় আরও ঠান্ডা পরবিশেষে তরৈহিয়ছেলি — অন্য planetary system-এর প্রথম chemical reading-গুলোর একটি

ALMA interstellar comet 3I/ATLAS-এ HDO detect করছে, কিন্তু H₂O সরাসরি detect করেনি। ফলে, paper exact D/H ratio নয়, model-dependent lower limit দিয়ে; limit Solar System-এর সাধারণ comet-এর তুলনায় high এবং very cold ice-formation chemistry-এর সঙ্গতে consistent। Result অন্য planetary system-এর volatile chemistry সম্পর্কে real clue, কিন্তু precise water isotope ratio, parent system বা habitability নির্ধারণ করে না।

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



অগ্রপটে ALMA-র DV-59 অ্যান্টেনা; পছনে চাঁদরে আলোয় আকাশ পর্যবেক্ষণ করছে অন্য অ্যান্টেনোগুলো। কৃতিত্ব: Alex Pérez / ALMA Observatory।

Alex Pérez / ALMA Observatory CC BY 4.0

অন্য একটি নক্ষত্র ব্যবস্থা থেকে আসা ধূমকতু, আর তার জলের রাসায়নিক স্বাক্ষর

মাঝে মাঝে সৌরজগৎ দিয়ে এমন বস্তু যায়, যা কখনোই আমাদের ব্যবস্থার অংশ ছিল না। এগুলো গ্রহাণুপুঞ্জ থেকে ছটিকে আসা শলি নয়, Oort মধ্যে থেকে ফিরে আসা বাঁধা ধূমকতুও নয়; উন্মুক্ত অতীততাকার কক্ষপথে আন্তঃনাক্ষত্রিক মহাকাশ থেকে ঢুকে সূর্যকে ঘুরে আবার চরিতরে বেরিয়ে যায়। এখন পর্যন্ত এমন তিনটি বস্তু দেখা গেছে। 2017-এর ‘Oumuamua এত দ্রুত চলে গিয়েছিল যে তার প্রকৃতি নিয়ে বিতর্ক মটোর আগাই নাগালরে বাইরে চলে যায়। 2019-এর 2I/Borisov নিঃসন্দেহে ধূমকতু। জুলাই 2025-এ আবশ্যিক তৃতীয়টি 3I/ATLAS—একটি সক্রিয় কৌমা-যুক্ত আন্তঃনাক্ষত্রিক ধূমকতু, যার রাসায়ন দূরবীক্ষণের দ্বিগুণ মাপা যায়।

আন্তঃনাক্ষত্রিক ধূমকতু মূলত অন্য গ্রহীয় ব্যবস্থার একটি খণ্ড: অন্য নক্ষত্রের চারপাশে তরৈবিরফ ও ধূলি, সম্ভবত বহু আগে মহাকর্ষীয় মথিস্ক্রিয়ায় ব্যবস্থা থেকে ছটিকে বেরিয়ে গ্যালাক্সি পার হয়ে এসেছে, আর আমাদের Sun-এর কাছে এসে বরফ সাবলমিশেন শুরু করেছে। এই তথ্যটাই অসাধারণ; “কটে বানিয়েছে কি?” ধরনের জল্পনা দরকার নেই। 3I/ATLAS নিয়ে বাস্তব বজ্রাণিক প্রশ্ন হল: অন্য নক্ষত্রের চারপাশে তরৈউপাদানের রাসায়ন পড়ে সেই ব্যবস্থার গঠন শরত সম্পর্কে কী জানা যায়?

এবার স্বাক্ষর হলো পানি। H_2O -র হাইড্রোজেনের ছোট ভগ্নাংশ হলো ডিউটেরিয়াম—অতিরিক্ত নিউট্রনসহ ভারী হাইড্রোজেন। পানিতে ডিউটেরিয়াম-হাইড্রোজেন অনুপাত, D/H , এলোমেলো নয়; পানিকে থায় ও কত ঠান্ডায় তরৈহিয়েছে তার রাসায়নিক ইতিহাস বহন করে। খুব ঠান্ডা পরবিশেষে ডিউটেরিয়াম সমৃদ্ধকরণ বেশি হতে পারে। ধূমকতু বলিয়ন বছর ধরে গভীর হিমায়নের মতো বরফ সংরক্ষণ করতে পারে, তাই

D/H গঠন শর্তের সূত্র হয়ে থাকে। পৃথিবী মহাসাগর ও সঠিক রঞ্জণ ধূমকতুর D/H মতে টিমুটি পরিচিতি পরিসরে; অন্য নক্ষত্রের উপাদানের পানি স্বাক্ষর আগে নরিভরযে গ্যেভাবে মাপা হয়নি।

গবেষকরো কী করছেন

4 নভেম্বর 2025—ধূমকতু Sun-এর কাছের বনিদু পার হওয়ার ছয় দিন পর—Chile-র ALMA দিয়ে 3I/ATLAS পর্যবেক্ষণ করা হয়। মলিমিটার তরঙ্গদৈর্ঘ্যে কেমার তনি অণু লক্ষ্য করা হয়: সাধারণ পানি (H_2O), ভারী পানি **HDO**—এক হাইড্রোজেনের জায়গায় ডিউটেরিয়াম—এবং মথানল (CH_3OH)।

D/H মূলত ভারী পানি বিনাম সাধারণ পানি অনুপাত, তাই দুটির প্রাচুর্য দরকার। বর্ণালি প্রসারিত ধূমকতুজনিত বায়ুমণ্ডলে বকিরিণ-সঞ্চারন মডলে **SUBLIME**-এ মানানসই করে তাপমাত্রা, বহিঃপ্রবাহ ও অণু উৎপাদন অনুমান করা হয়। এক্সোপ্ল্যানটে বায়ুমণ্ডল তথ্য-উদ্ধারের মতো পরিসংখ্যানগত মডেলিং ব্যবহার করা হয়।

সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ জটিলতা: **ALMA সাধারণ H_2O সরাসরি শনাক্ত করেনি**। HDO ও মথানল রাখো দেখা গেছে; H_2O রাখো শব্দদূষণে নচিছে ছিল। সাধারণ পানি কম ছিল—তা নয়। শনাক্তযোগ্যতা প্রাচুর্য ছাড়াও রাখো পদার্থবিদ্যা ও পর্যবেক্ষণ শর্তের ওপর নরিভর করে। লক্ষ্যযোগ্য H_2O রাখো ছিল প্রায় **183 GHz**, যখনে পৃথিবীর পানি-সমৃদ্ধ বায়ুমণ্ডল প্রবল শোষণ করে। HDO রাখো প্রায় **241 GHz**-এ তুলনামূলক পরিষ্কার বায়ুমণ্ডলীয় সময়সীমায়। উপরন্তু পানি চ্যানেলে অনেকে বেশি শব্দযুক্ত—প্রায় **500 mJy/রশ্মি**, HDO-তে প্রায় **21 mJy/রশ্মি**। ফলে প্রচুর H_2O -ও কুয়াশা ও শব্দদূষণে নচিছে থাকতে পারে। পরে বায়ুমণ্ডলে ওপরে JWST ইনফ্রারেডে ধূমকতুর পানি শনাক্ত করেছে—ALMA অ-শনাক্তকরণ পানি অনুপস্থিতি নয়; নরিদৃষ্টি ভূমিত্তিক রাখোর সীমাবদ্ধতা।

তাই সাধারণ-পানি প্রাচুর্য **পর্যবেক্ষণে** অনুমান করতে হয়েছে, প্রধানত মথানল রাখো উত্তজেনা থেকে। মথানল অণু কতবার পানি সঙ্গে সংঘর্ষ করে তা উত্তজেনাকে বদলায়। এটি বাস্তব পরিমাপ শৃঙ্খল, কনিতু মডলে-নরিভরশীল; লখেকরো তা স্পষ্ট বলেন।

তারা কী পয়েছেন

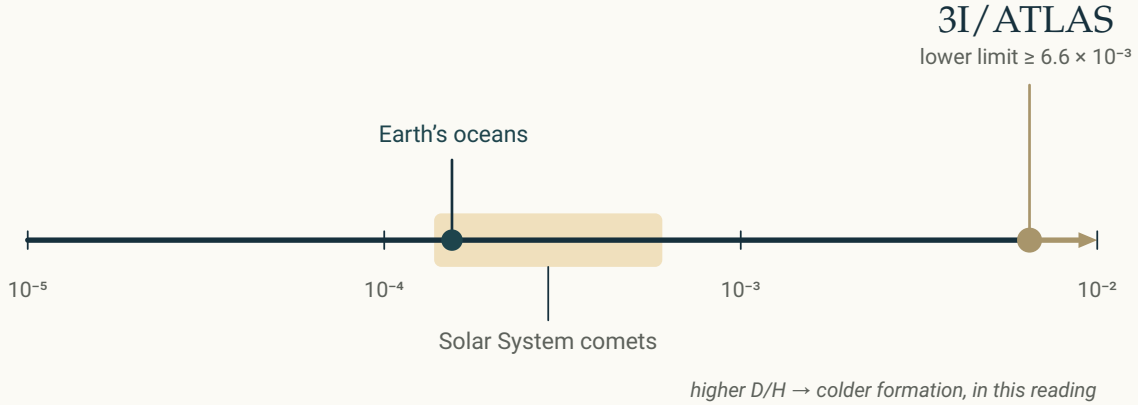
ভারী পানি শনাক্ত করা হয়েছে, সরল পানি নয়। HDO ও কয়েকটি মথানল রাখো পরিষ্কার; H_2O নয়। সাধারণ-পানি উৎপাদন হারের জন্য উপরে সীমা ব্যবহার হওয়ায় D/H ফলও **নচিছে সীমা**, একক নরিভুল মান নয়।

ডিউটেরিয়াম সমৃদ্ধকরণ খুব বেশি। রক্ষণশীল পরিস্থিতিতে পানি $D/H \ 6.6 \times 10^{-3}$ -এর বেশি। এটি পৃথিবী মহাসাগরে প্রায় **40 গুণেরও বেশি**, সাধারণ সঠিক রঞ্জণ ধূমকতুর প্রায় **30 গুণেরও বেশি**। লখেকদরে দুই অনুমানই 3I/ATLAS পরিচিতি পানি D/H বণ্টনের ডিউটেরিয়াম-সমৃদ্ধ চরমে।

এক রাত্রে এলে মিলে ঠাণ্ডা হওয়ার সম্ভাবনা কম মনে হয়। প্রধান ফল একক যুগ হলেও কাছের ALMA তথ্যের প্রাথমিক যাচাই দিনে-দিনে বড় ঠাণ্ডা দখোয় না; এক মাসের বেশি পরে স্বাধীন JWST বিশ্লেষণও ডিউটেরিয়াম-সমৃদ্ধ পানি একই দকি দখোয়।

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

Water D/H ratio — logarithmic scale



ডিউটেরিয়াম পরিসরে 3I/ATLAS-এর পানি স্টারজগৎ ধূমকতু ও পৃথিবী মহাসাগররে অনেকে ওপরে। তীরটি **নচিরে সীমা**—সত্য মান আরও বশেহিতহে পারে। উচ্চ D/H ঠান্ডা গঠন শর্তের সূত্র, কখনো নরিদখিট “বাড়ি উত্তর দেওয়া” নয়।

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

এর সম্ভাব্য অর্থ কী

উচ্চ পানি D/H সাধারণত খুব ঠান্ডা পরবিশে—প্রায় **30 K-এর নচিরে**—বরফ গঠন এবং পরে কম তাপীয় পুনঃপ্রকরয়াকরণেরে চহিন। সবচেয়ে সোজা ব্যাখ্যা: 3I/ATLAS-এর পানিআমাদরে স্টারজগৎ ধূমকতুর পানির চেয়ে **আরও ঠান্ডা, কম তাপ-প্রকরয়াজাত শর্ত**-এ গঠিত হয়েছো। অর্থাৎ তার অভিবাক গ্রহীয় ব্যবস্থার বরফ সমাবেশে আমাদরে ব্যবস্থার মতো ছিল না।

কনিতু সমৃদ্ধকরণ কীভাবে তৈরিহয়েছে তা পরিমাপ আলাদা করতে পারো না। পানিঅভিবাক নকষতর ব্যবস্থার জন্মেরে ঠান্ডা আগবকি মধ্যে থেকেই উচ্চ D/H **উত্তরাধিকার পাওয়া** করতে পারো; অথবা পরে ঠান্ডা বাইরের protoplanetary ডিসকে ধূমকতু তৈরির সময় অনুপাত সটে হতে পারো। উভয় পরিস্থিতিহি তথ্যেরে সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ। তাই দৃঢ় উপসংহার হলো শর্ত আলাদা; কারণ কনটিতা অমীমাংসতি।

এটিঅন্য গ্রহীয় ব্যবস্থার উপাদানে পানি-গঠন স্বাক্ষর পড়ার প্রথম সুযোগগুলোর একটি, এবং স্বাক্ষর আমাদরে ধূমকতুর মতো নয়।

এই গবেষণা কী প্রমাণ করে না

- জীবন, প্রযুক্তিবা অভ্যপ্রায় সম্পর্কে **কিছুই বলে না**। আন্তঃনাক্ষত্রিক গতিপথ রসায়ন কখনো বস্তুকে কুত্রমি বানায় না।
- এটি **নরিভুল D/H মান নয়**; নচিরে সীমা। H_2O সরাসরি শনাক্ত করা হয়নি; মথিনল উত্তজেনা ও পানি-প্রধান সংঘর্ষ অনুমান থেকে প্রাচুর্য অনুমান করা হয়েছে।
- অভিবাক নকষতর কথায়—তা বলে না। উচ্চ D/H গঠন শর্তের সূত্র, উৎপত্তিস্থলরে লক্ষ্যবিন্দু নয়।
- উচ্চ D/H **কনে** হয়েছে মীমাংসা করে না; ঠান্ডা জন্ম-মধ্যে উত্তরাধিকার এবং ঠান্ডা ডিস্ক গঠন—দুটাই সম্ভব।
- এটিএক বস্তু, **এক প্রধান যুগ**-এর পরিমাপ। স্বাধীন সমর্থন আশাব্যঞ্জক, দীর্ঘ প্রারম্ভিক মান নয়।

প্রমাণ কতটা শক্ত?

দুটি বিষয় আলাদা: দিক এবং সুনরিদৃষ্টি সংখ্যা।

দিক দৃঢ়। 3I/ATLAS-এর পানি জোড়ালোভাবে ডিউটেরিয়াম-সমৃদ্ধ—এটি রক্ষণশীল নচিরে সীমা, সঠিক জগৎ ধূমকত্রে জনসংখ্যার ওপর, স্বাধীন JWST বশ্লিষণ একই দিক দেখায়। এই দাবি তুলনামূলক শক্ত।

সুনরিদৃষ্টি মাত্রাটি মডেলিংয়ের পুরো শৃঙ্খলে ওপর নরিভরশীল। H_2O সরাসরি শনাক্ত না হওয়ায় পানির প্রাচুর্য মথিনলরে উত্তজেনা থেকে অনুমান করা হয়েছে। মডলে ধরে যাে কামায় পানি প্রধান সংঘর্ষ-সঙ্গী; অনুসূর-এর কাছে এটি যুক্তিসিঙ্গত, তবে CO_2 -এর অবদান পুরো পুরি বাদ দেওয়া যায় না। সংঘর্ষের হারও আনুমানিক এবং দুর্বলভাবে সীমাবদ্ধ—লেখকরো নজিরোই তা বলছেন। তাই ফলটিকে ইচ্ছাকৃতভাবে একটি সীমা হিসেবে দেওয়া হয়েছে, নরিদৃষ্টি পরিমাপবিন্দু হিসেবে নয়।

ব্যখ্যা ভালোভাবে যুক্তিসিঙ্গতভাবে প্রণোদিত, কনিত্ত একমাত্র ব্যখ্যা নয়। উচ্চ D/H ঠান্ডা গঠনের স্বাভাবিক ব্যখ্যা; ঠান্ডা মধ্যে উত্তরাধিকার বনাম পরে ডিস্ক বনিয়াস অমীমাংসতি; অভিবাক ব্যবস্থা শনাক্ত করা যায় না।

কনে এটি গুরুত্বপূর্ণ

পৃথিবীর পানি কীথা থেকে এসেছে এবং গঠনকারী গ্রহীয় ব্যবস্থায় পানি D/H কীভাবে সটে হয়—এই প্রশ্নগুলো এতদিন সঠিক জগতেরে তথ্য দিয়েই দেখা হয়েছে। 3I/ATLAS সেই চার্টকে প্রথমবার অন্য নক্ষত্রেরে উপাদান প্রয়ন্ত প্রসারিত করে।

ফল বলে না “সব ব্যবস্থা আমাদের মতো।” বরং অন্য ব্যবস্থার বরফ এমন ঠান্ডা শরতে তরৈহিতে পারে যার স্বাক্ষর আমাদের ধূমকত্রে জনসংখ্যা বহন করে না। গ্রহ-তরৈকিঠনিরে রসায়ন ও ইতিহাস নক্ষত্রভদে বদলাতে পারে—এর ছোট কনিত্ত নরিদৃষ্টি প্রমাণ। আলো-বহর দূরে মহাকাশযান পাঠানো ছাড়াই, অন্য ব্যবস্থা থেকে আকস্মিক আগন্তুক এসে যাওয়ার সময় তার পানির রসায়ন পড়ে এটি জানা গেছে।

সংক্ষিপ্ত সারাংশ

3I/ATLAS তৃতীয় পরিচিতি আন্তঃনাক্ষত্রিক বস্তু এবং দ্বিতীয় স্পষ্ট সক্রিয় আন্তঃনাক্ষত্রিক ধূমকত্রে। অনুসূররে কাছে ALMA পর্যবেক্ষণে HDO ও মথিনল ধরা পড়ে, কনিত্ত সাধারণ H_2O রখো ধরা পড়েনি। মথিনলরে উত্তজেনা মডলে করে সাধারণ পানির প্রাচুর্য অনুমান করে লেখকরো পানি D/H-এর রক্ষণশীল **নমিনসীমা** $> 6.6 \times 10^{-3}$ পান—পৃথিবীর মহাসাগরের প্রায় 40 গুণ এবং সাধারণ সঠিক জগতীয় ধূমকতুর প্রায় 30 গুণ। এটি অপেক্ষাকৃত ঠান্ডা ও কম তাপীয়ভাবে প্রক্রিয়াজাত গঠন-পরিবেশেরে দিকে ইঙ্গতি করে। তবে এটি সরাসরি D/H পরিমাপ নয়: H_2O না ধরা পড়ায় ফলটি মডেল-নরিভর নমিনসীমা; ঠান্ডা জন্ম-মধ্যে থেকে উত্তরাধিকার আর ঠান্ডা ডিস্কে গঠনের মধ্যে পার্থক্য করা যায় না; মাতৃনক্ষত্রও অজানা। এটি অন্য নক্ষত্রব্যবস্থার পানির রসায়নেরে অসাধারণ স্বাক্ষর, ভনিগ্রহী প্রযুক্তির গল্প নয়।

সরাসরি যাচাই

পপোর যা দেখায়: ALMA তথ্য থেকে 3I/ATLAS পানি D/H-এর রক্ষণশীল নচিরে সীমা $> 6.6 \times 10^{-3}$; জোড়ালোভাবে ডিউটেরিয়াম-সমৃদ্ধ পানি; স্বাধীন JWST কাজ একই দিক সমর্থন করে।

যা সম্ভব, কনিত্ত প্রমাণিত নয়: সমৃদ্ধকরণ ঠান্ডা প্রাক-নাক্ষত্রিক মধ্যে থেকে উত্তরাধিকারসূত্রে পাওয়া, নাকি ঠান্ডা protoplanetary

ডিস্কে সটে—দুটাই সম্ভাব্য।

যা দেখায় না: জীবন/প্রযুক্তি/কৃত্রিম উৎপত্তি; নরিভুল D/H মান; অভ্যাবক নক্সত্র; উচ্চ D/H-এর একমাত্র প্রক্রিয়া; দীর্ঘময়াদি পরিবর্তনশীলতা-মুক্ত ফল।

প্রধান সীমাবদ্ধতা: H₂O সরাসরি শনাক্ত করা হয়নি; মথানল উত্তজেনা ও সংঘর্ষ মডলে থেকে পানি অনুমান করা; সংঘর্ষ হার অনিশ্চিত; একক প্রধান যুগ; অভ্যাবক ব্যবস্থা অজানা।

সাধারণ পাঠকরে আস্থা কতটা হওয়া উচিত? পানিসত্যি ডিউটেরিয়াম-সমৃদ্ধ এবং আমাদের ধূমকতের তুলনায় আরও ঠান্ডা গঠন ইতহিস নরিদশে করে—উচ্চ। সুনরিদশিট সমৃদ্ধকরণ—মাঝারি, কারণ এটি মডলে-নরিভরশীল নচিরে সীমা। নরিদশিট birthplace/কারণ—কম।

উৎস

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/>