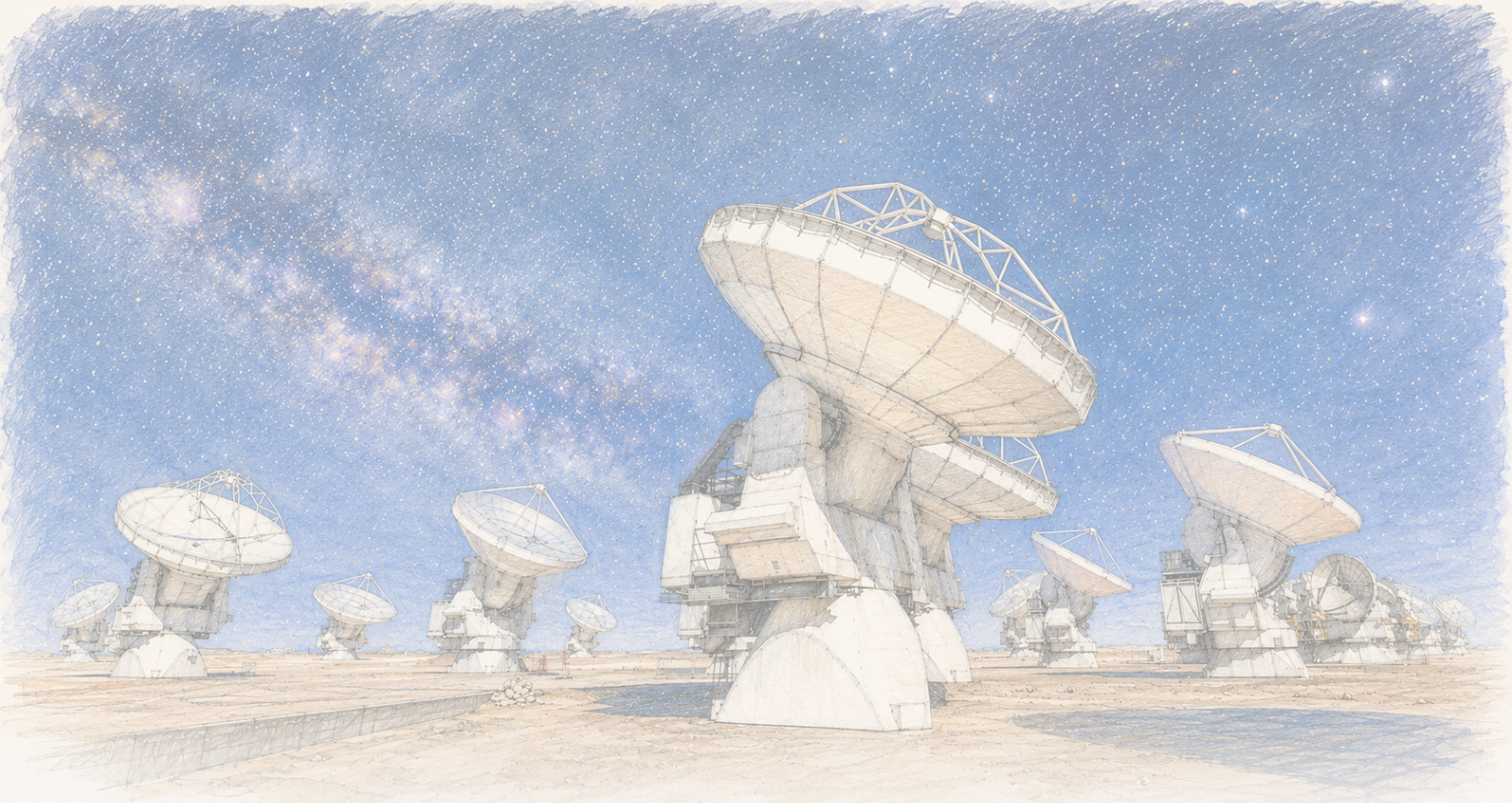




The CLEAN PAPER

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

دوسرے ستارے سے آیا دمدار ستارہ، اور اس کے پانی میں چھپا کیمیائی نشان

3I/ATLAS تیسری معلوم بین النجمی شے اور دوسری فعال بین النجمی دمدار ستارہ ہے — کسی دوسرے سیاروی نظام کا مادہ جو ایک بار ہمارے نظام سے گزر رہا ہے۔ ALMA نے *perihelion* کے قریب اس کی *coma* میں بھاری پانی HDO اور *detect methanol* کیے، مگر معمول کا O_2H نہیں، اور اسی سے پانی کا D/H تناسب بالواسطہ اخذ کیا گیا۔ محتاط *scenario* میں D/H 6×10^{-3} سے زیادہ ہے، یعنی زمین کے سمندروں سے تقریباً 40 گنا اور ایک عام نظام شمسی *comet* سے تقریباً 30 گنا زیادہ۔ یہ ایسے پانی کی طرف اشارہ کرتا ہے جو ہمارے دمدار ستاروں کے پانی سے زیادہ سرد اور کم حرارتی طور پر بدلے ہوئے ماحول میں بنا۔ مگر یہ عدد براہ راست *measurement* نہیں بلکہ *model-dependent* کم از کم حد ہے، اور یہ *data* نہیں بتاتے کہ *enrichment* سرد *cloud birth* سے وراثت میں ملی یا سرد *disk* میں بنی، نہ ہی *star parent* کی شناخت ہوتی ہے۔ اس کے باوجود، یہ کسی دوسرے ستارے کے پانی کے *chemical fingerprint* کی پہلی ایسی *reading* ہے — اور وہ ہمارے *fingerprint* جیسا نہیں۔

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: 5-02850-026-s41550/1038.10



سامنے DV-59 اینٹینا ہے، جبکہ پس منظر میں ALMA کے کئی اینٹینا چاندنی رات کے آسمان کا مشاہدہ کر رہے ہیں۔ کریڈٹ: Pérez Alex / ALMA Observatory

Alex Pérez / ALMA Observatory CC BY 0.4

دوسرے ستارے سے آیا دمدار ستارہ، اور اس کے پانی میں چھپا کیمیائی نشان

کبھی کبھار کوئی ایسی چیز نظام شمسی سے گزرتی ہے جو کبھی ہماری تہی ہی نہیں۔ نہ سیارچہ پٹی کی کوئی بھٹکی ہوئی چٹان، نہ Oort بادل سے لمبے مدار پر لوٹتا کوئی دمدار ستارہ، بلکہ ایک ایسی شے جو کھلے، hyperbolic راستے پر بین النجمی خلا سے آتی ہے، سورج کے گرد ایک بار مڑتی ہے اور پھر ہمیشہ کے لیے چلی جاتی ہے۔ اب تک ہم ایسی تین اشیا دیکھ چکے ہیں۔ پہلی، 2017 کی Oumuamua، تقریباً اس سے پہلے ہی نکل گئی کہ ماہرین طے کر پاتے کہ وہ کیا تھی۔ دوسری، 2019 کی 2I/Borisov، واضح طور پر ایک دمدار ستارہ تھی۔ تیسری، 3I/ATLAS، جولائی 2025 میں دریافت ہوئی — اور اس کے گرد اتنی فعال coma تھی کہ اس کی کیمیائی ساخت کو باقاعدہ ناپا جا سکتا تھا۔

شور شروع ہونے سے پہلے ایک بنیادی بات ذہن میں رکھنا مفید ہے۔ ایک بین النجمی دمدار ستارہ، لفظی معنی میں، کسی دوسرے سیاروی نظام کا ایک ٹکڑا ہے: برف اور غبار جو کسی دوسرے ستارے کے گرد بنے، غالباً بہت پہلے کسی ثقیل دھکے سے وہاں سے باہر پھینکے گئے، کہکشاں میں بھٹکتے رہے، اور اتفاق سے ہمارے سورج کے اتنے قریب آ گئے کہ ان کی برف بخارات بننے لگی اور ہماری دوربینیں اسے دیکھ سکیں۔ یہی حقیقت اپنے آپ میں حیرت انگیز ہے؛ اسے سنسنی کی ضرورت نہیں۔

پھر بھی بین النجمی اشیا کے ساتھ سنسنی اکثر آہی جاتی ہے — ”مدہم روشنیاں،“ اگر اسے کسی نے بنایا ہو تو؟“ جیسے سوال، اور

3I/ATLAS بھی اس سے بچ نہ سکی۔ اس سوال کا دیانت دار جواب نسبتاً سادہ ہے: یہ ایک دمدار ستارہ ہے۔ زیادہ دلچسپ سوال یہ ہے کہ اگر ہم کسی دوسرے ستارے کے گرد بننے والے مادے کی کیمیا پڑھ سکیں، تو وہ ہمیں اس نظام کے بارے میں کیا بتائے گی؟ اور ایسی تحریر پڑھی کیسے جائے؟

اس بار پڑھنے کا ذریعہ پانی ہے۔ پانی کے سالمے میں دو ہائیڈروجن اور ایک آکسیجن ہوتے ہیں، مگر ہائیڈروجن کا ایک چھوٹا حصہ ڈیوٹیریم ہوتا ہے — ہائیڈروجن کی ایک بھاری قسم جس کے مرکزے میں ایک اضافی neutron ہوتا ہے۔ پانی میں بھاری ہائیڈروجن اور معمول کے ہائیڈروجن کا تناسب، جسے D/H لکھتے ہیں، اتفاقی نہیں ہوتا۔ کیمیا کی وجہ سے یہ بڑی حد تک اس درجہ حرارت کی یاد رکھتا ہے جس میں پانی پہلی بار بنا: ماحول جتنا سرد اور نسبتاً پرسکون ہو، پانی میں اتنا زیادہ ڈیوٹیریم محفوظ رہ سکا ہے۔ اور چونکہ دمدار ستارے اپنی برف کو اربوں سال تک منجمد حالت میں سنبھال سکتے ہیں، اس لیے ان کے پانی کا D/H تناسب تشکیل کے ماحول کا ایک کیمیائی نشان بن سکا ہے۔

اپنے نظام شمسی کے یہ نشانات ہمیں نسبتاً اچھی طرح معلوم ہیں۔ زمین کے سمندر اور مختلف خاندانوں کے دمدار ستارے ایک محدود دائرے میں آتے ہیں۔ جو چیز پہلے کبھی براہ راست نہیں جانی گئی تھی، وہ کسی دوسرے ستارے کے گرد بننے والے پانی کا یہی نشان تھا۔ اس مقالے نے 3I/ATLAS میں اسی کو پڑھنے کی کوشش کی۔

مصنفین نے کیا کیا

4 نومبر 2025 کو، یعنی دمدار ستارے کے سورج کے گرد قریب ترین گزر سے چھ دن بعد، محققین نے ALMA کو 3I/ATLAS کی طرف موڑا۔ انہوں نے coma میں تین سالمات کی مدہم طول-millimetre موج اخراج تلاش کی: معمول کا پانی O_2H ، بھاری پانی HDO — جس میں ایک ہائیڈروجن کی جگہ ڈیوٹیریم ہوتا ہے — اور میتھانول OH_3CH

جس D/H تناسب کی انہیں ضرورت تھی، وہ عملاً بھاری پانی اور معمول کے پانی کی نسبت سے نکلتا ہے۔ اس لیے دونوں کی مقدار جاننا ضروری تھی۔ طیف کو پھر ایک پھیلتی ہوئی دمدار-ستارہ فضا کے منتقلی-radiative ماڈل، SUBLIME، سے گزارا گیا، اور شماریاتی retrieval کے ذریعے درجہ حرارت، گیس کے اخراج اور ہر سالمے کی پیداوار کی شرح اخذ کی گئی۔

یہاں ایک اہم مشکل پوری کہانی کا رخ طے کرتی ہے: ALMA نے معمول کے پانی O_2H کو براہ راست detect نہیں کیا۔ HDO اور میتھانول واضح تھے، مگر O_2H شور سے اوپر نہ آسکا۔ اس کا مطلب یہ نہیں کہ معمول کا پانی کم تھا — حقیقت میں وہ بھاری پانی سے کہیں زیادہ ہونا چاہیے۔ مسئلہ یہ تھا کہ مخصوص spectral O_2H لکیر کو زمین سے دیکھنا مشکل ہے۔ تقریباً 183 GHz پر موجود یہ لکیر زمین کی اپنی پانی سے بھرپور فضا میں شدید جذب ہوتی ہے، جب کہ HDO کی تقریباً 241 GHz لکیر نسبتاً صاف atmospheric مدت میں آتی ہے۔

دوسری مشکل sensitivity تھی۔ O_2H راستہ میں شور تقریباً 500 mJy فی beam تھا، جبکہ HDO کے لیے تقریباً 21 mJy فی beam۔ اس لیے زیادہ مقدار میں موجود معمول کا پانی بھی شور کے نیچے رہ سکتا تھا، جبکہ کم مقدار والا HDO صاف مدت میں نظر آگیا۔ بعد میں خلا سے JWST نے زیریں سرخ میں دمدار ستارے کا معمول کا پانی پتہ لگایا، اس لیے ALMA کی غیر-detection پانی کی عدم موجودگی نہیں بلکہ اسی زمینی spectral لکیر کی مشکل تھی۔

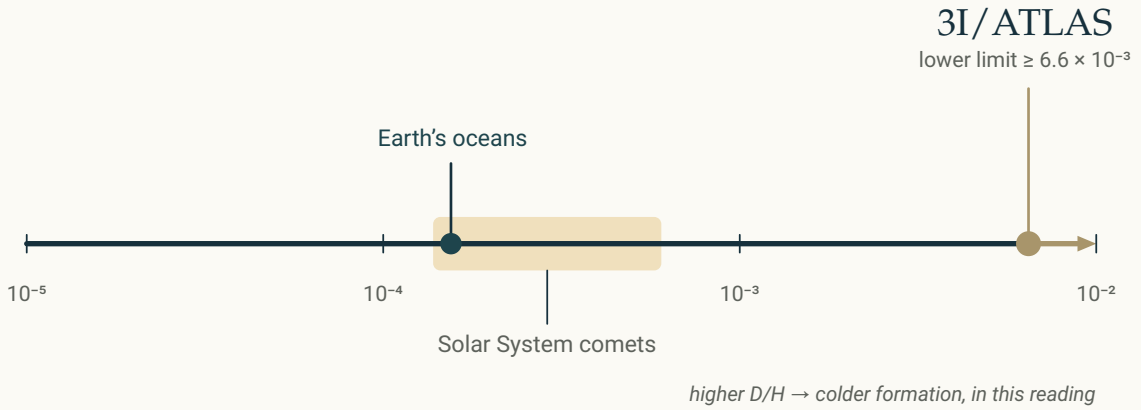
چنانچہ O_2H کی مقدار بالواسطہ اخذ کرنی پڑی، خاص طور پر میتھانول کی excitation سے۔ میتھانول کے سالموں کی excitation اس بات پر منحصر ہے کہ وہ coma میں کن سالموں سے کتنی بار ٹکراتے ہیں، اور ماڈل میں پانی کو اہم partner collision مانا گیا۔ یہ حقیقی مشاہداتی زنجیر ہے، مگر ماڈل-dependent ہے، اور مصنفین اس حد کو واضح طور پر بیان کرتے ہیں۔

انہوں نے کیا پایا

- بھاری پانی detect ہوا، معمول کا پانی نہیں۔ HDO اور میتھانول کی کئی لکیریں واضح تھیں، O_2H نہیں۔ چونکہ معمول کے پانی کی پیداوار کی شرح کے لیے ایک بالائی حد استعمال ہوئی، اس لیے D/H کا نتیجہ ایک کم از کم حد ہے، کوئی واحد درست عدد نہیں۔
- ڈیوٹیریم کی مقدار غیر معمولی طور پر زیادہ ہے۔ محتاط منظرنامہ میں پانی کا D/H تناسب 6.6×10^{-3} سے زیادہ نکلا — زمین کے سمندروں سے تقریباً 40 گنا اور ایک عام نظام شمسی کے دمدار ستارے سے تقریباً 30 گنا زیادہ۔ مصنفین کے دونوں تخمینوں میں 3I/ATLAS اب تک کی D/H water پیمائشوں کے انتہائی زیادہ سرے پر ہے۔
- یہ غالباً صرف اسی ایک رات کا اتفاق نہیں۔ اصل پیمائش ایک ہی epoch کی ہے، مگر قریب کے ALMA ڈیٹا میں دن بہ دن بہت بڑا اتار چڑھاؤ نظر نہیں آتا، اور ایک آزاد JWST تجزیہ، جو ایک ماہ سے زیادہ بعد لیا گیا، بھی اسی سمت اشارہ کرتا ہے: پانی ڈیوٹیریم سے مالا مال ہے۔

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

Water D/H ratio — logarithmic scale



3I/ATLAS کا پانی D/H پیمانے کے بہت زیادہ ڈیوٹیریم والے سرے پر ہے، زمین کے سمندروں اور نظام شمسی کے دمدار ستاروں سے آگے۔ تیر ایک کم از کم حد دکھاتا ہے؛ اصل قدر اس سے زیادہ بھی ہو سکتی ہے۔ بلند D/H سرد تشکیل کی علامت ہے، جائے پیدائش کا پتہ نہیں۔

Original diagram — The Clean Paper CC BY 0.4

اس کا غالب مطلب کیا ہے

پانی میں بہت زیادہ D/H عموماً اس بات کی علامت ہے کہ پانی بہت سرد ماحول — تقریباً 30 K سے کم — میں جما اور بعد میں حرارت سے شدید طور پر دوبارہ عمل نہیں ہوا۔ اس لیے سب سے سیدھی تشریح یہ ہے کہ 3I/ATLAS کا پانی ہمارے نظام شمسی کے دمدار ستاروں کے پانی کے مقابلے میں زیادہ سرد اور کم حرارتی طور پر بدلے ہوئے ماحول میں بنا۔ اس کا مطلب یہ بھی ہے کہ اس کے اصل سیاروی نظام میں برف بننے کے حالات ہمارے نظام سے مختلف تھے۔

اگلے قدم پر مصنفین محتاط ہیں۔ اتنا زیادہ ڈیوٹیریم دو مختلف راستوں سے آ سکا ہے، اور یہ پیمائش ان دونوں میں فرق نہیں کرتی: protoplanetary outer enrichment اس سرد prestellar بادل سے وراثت میں ملی ہو سکتی ہے جس سے نظام بنا، یا بعد میں سرد 3I/ATLAS کے پانی کو بنانے والے حالات ہمارے دمدار ستاروں جیسے نہیں تھے — مگر کیوں، یہ سوال کھلا رہتا ہے۔

اس معنی میں یہ پہلی بار ہے کہ کسی دوسرے سیاروی نظام کے مادے کے پانی کا fingerprint formation پڑھا گیا ہے، اور وہ ہمارے پانی کے نشان سے میل نہیں کھاتا۔

یہ کیا ثابت نہیں کرتا

- یہ زندگی، ٹیکنالوجی یا کسی ارادے کے بارے میں کچھ نہیں بتاتا۔ "Interstellar" صرف اس کا راستہ بیان کرتا ہے، یہ کسی مصنوعی اصل کا ثبوت نہیں۔
- یہ D/H کی درست، واحد قدر نہیں۔ نتیجہ کم از کم حد ہے، اور جس O₂H پر یہ تناسب منحصر ہے اسے ALMA نے براہ راست detect نہیں کیا، اس کی مقدار میتھانول excitation سے اخذ کی گئی۔
- یہ 3I/ATLAS کی جائے پیدائش یا اصل ستارہ نہیں بتاتا۔ بلند D/H تشکیل کے حالات کا اشارہ ہے، کسی مخصوص ستارے کا پتہ نہیں۔
- یہ یہ طے نہیں کرتا کہ enrichment کیوں ہوئی۔ سرد birth بادل سے وراثت اور سرد قرص میں بعد کی تشکیل، دونوں ڈیٹا کے مطابق ہیں۔
- یہ ایک شے اور ایک epoch کی پیمائش ہے۔ بعد کے آزاد اشارے حوصلہ افزا ہیں، مگر یہ طویل زمانی بنیادی موازنہ نہیں۔

شواہد کتنے مضبوط ہیں؟

نتیجے کی سمت اور عین عدد کو الگ دیکھنا چاہیے۔

- سمت مضبوط ہے۔ 3I/ATLAS کا پانی واقعی غیر معمولی طور پر deuterium-rich دکھائی دیتا ہے۔ یہ ایک محتاط کم از کم حد ہے، پورے معلوم نظام شمسی دمدار ستارہ آبادی سے اوپر ہے، اور آزاد JWST تجزیہ بھی اسی سمت جاتا ہے۔
- عین عدد ایک modelling زنجیر پر منحصر ہے۔ detect O₂H نہ ہونے کی وجہ سے پانی کی مقدار میتھانول excitation سے بالواسطہ اخذ کی گئی۔ اس میں یہ مفروضہ شامل ہے کہ perihelion کے قریب پانی اہم partner collision ہے؛ CO₂ کے کچھ کردار کو خارج نہیں کیا جا سکا، اور rates collision تقریباً معلوم ہیں۔ اسی لیے مصنفین ایک precise پیمائش کے بجائے حد دیتے ہیں۔
- تشریح معقول ہے، مگر منفرد نہیں۔ سرد تشکیل بلند D/H کی قدرتی وضاحت ہے، مگر یہ سردی birth بادل سے آئی یا بعد میں قرص سے، یہ ڈیٹا نہیں بتاتے؛ parent نظام بھی شناخت نہیں کیا جا سکا۔

مختصر یہ کہ پانی سرد حالات میں بنا — اس پر شواہد مضبوط ہیں۔ کتنا سرد اور کیوں، یہ ابھی کھلا ہے۔

یہ کیوں اہم ہے

کئی دھائیوں تک زمین کے پانی کی اصل اور مختلف سیاروی نظاموں میں پانی کے fingerprint deuterium کے بارے میں ہماری تقریباً تمام براہ راست پیمائشیں نظام شمسی کے اندر سے آتی رہی ہیں۔ یہ پہلی بار ہے کہ یہی نقشہ ایسے مادے تک بڑھا ہے جو واضح طور پر کسی دوسرے ستارے کے گرد بنا تھا۔

جواب یہ نہیں کہ ”ہر جگہ ہمارے گھر جیسی ہے۔“ اس کے برعکس، کوئی دوسرا نظام اپنی برف اتنے سرد حالات میں بنا سکتا ہے کہ اس کا کیمیائی نشان ہمارے دمدار ستاروں میں کبھی نہ دیکھا گیا ہو۔ یہ ایک چھوٹا مگر ٹھوس ثبوت ہے کہ سیارے بنانے والے solids کی کیمیا اور تاریخ ایک ستارے سے دوسرے ستارے تک بدل سکتی ہے۔ اور یہ علم کسی spacecraft کو نوری سال دور بھیج کر نہیں، بلکہ دوسرے نظام کے ایک بھٹکے ہوئے ٹکڑے کو ہمارے قریب سے گزرتے ہوئے پکڑ کر حاصل ہوا۔

صاف خلاصہ

3I/ATLAS تیسری معلوم بین النجمی شے اور دوسری فعال بین النجمی دمدار ستارہ ہے — کسی دوسرے سیاروی نظام کا مادہ جو ایک بار ہمارے نظام سے گزر رہا ہے۔ ALMA نے perihelion کے قریب اس کی coma میں بھاری پانی HDO اور میتھانول پتہ لگائے، مگر معمول کا O_2H نہیں، اور اسی سے پانی کا D/H تناسب بالواسطہ اخذ کیا گیا۔ محتاط منظرنامہ میں $6.6 \times 10^{-3} D/H$ سے زیادہ ہے، یعنی زمین کے سمندروں سے تقریباً 40 گنا اور ایک عام نظام شمسی دمدار ستارہ سے تقریباً 30 گنا زیادہ۔ یہ ایسے پانی کی طرف اشارہ کرتا ہے جو ہمارے دمدار ستاروں کے پانی سے زیادہ سرد اور کم حرارتی طور پر بدلے ہوئے ماحول میں بنا۔ مگر یہ عدد براہ راست پیمائش نہیں بلکہ ماڈل-dependent کم از کم حد ہے، اور ڈیٹا یہ نہیں بتاتے کہ enrichment سرد birth بادل سے وراثت میں ملی یا سرد قرص میں بنی، نہ ہی اصل ستارہ کی شناخت ہوتی ہے۔ اس کے باوجود، یہ کسی دوسرے ستارے کے پانی کے کیمیائی fingerprint کی پہلی ایسی reading ہے — اور وہ ہمارے fingerprint جیسا نہیں۔

بلا مبالغہ جانچ

مقالے کا دکھانا ہے: observations ALMA سے 3I/ATLAS کے پانی کے D/H تناسب کی محتاط کم از کم حد $< 6.6 \times 10^{-3}$ ، تقریباً $40 \times$ زمین کے سمندروں اور $30 \times$ ایک عام نظام شمسی دمدار ستارہ؛ یہ سرد تشکیل کے حالات کی طرف اشارہ کرتی ہے۔ ایک آزاد JWST تجزیہ بھی اسی سمت جاتا ہے۔

قرین قیاس مگر ثابت نہیں: enrichment براہ راست سرد prestellar بادل سے وراثت میں ملی، یا سرد protoplanetary قرص میں دمدار ستارہ کی تشکیل کے دوران قائم ہوئی۔ دونوں منظرنامے ڈیٹا کے مطابق ہیں۔

یہ کیا نہیں دکھاتا: زندگی، ٹیکنالوجی یا مصنوعی اصل؛ D/H کی ایک precise قدر؛ اصل ستارہ کی شناخت یا جگہ؛ بلند D/H کی واحد مخصوص وجہ؛ یا یہ کہ ایک epoch کا نتیجہ coma تفاوت سے مکمل طور پر آزاد ہے۔

اہم حدود: O_2H براہ راست detect نہیں ہوا، اس لیے پانی کی مقدار اور D/H میتھانول excitation سے بالواسطہ اخذ ہوئے؛ ماڈل پانی کو collider dominant مانتا ہے اور تقریباً معلوم rates collision استعمال کرتا ہے؛ نتیجہ ایک، single-epoch ماڈل-dependent حد ہے؛ parent نظام شناخت نہیں کیا جا سکتا۔

عام قاری کو کتنا اعتماد رکھنا چاہیے؟ اس بات پر بلند اعتماد کہ 3I/ATLAS کا پانی واقعی deuterium-rich ہے اور ہمارے

دمدار ستارے کے پانی کے مقابلے میں زیادہ سرد حالات میں بنا، اور اس نتیجے کا aliens سے کوئی تعلق نہیں۔ enrichment کی عین مقدار پر درمیانی اعتماد، کیونکہ یہ ماڈل-dependent کم از کم حد ہے۔ مخصوص وجہ اور جائے پیدائش پر کم اعتماد۔ مناسب ردعمل خاموش حیرت ہے: دوسرے ستاروی نظام سے ایک کیمیائی postcard — نہ معمہ، نہ spaceship۔

ماخذ

- (2026) Astronomy Nature
<https://doi.org/10.1038/s41550-026-02850-5>
- 07026.2603 arXiv
<https://arxiv.org/abs/2603.07026>
- (06911.2603 arXiv al., et (Cordiner corroboration JWST Independent
<https://arxiv.org/abs/2603.06911>
- 2025.A.00002.T) (project archive data ALMA
<https://almascience.nrao.edu/aq/>