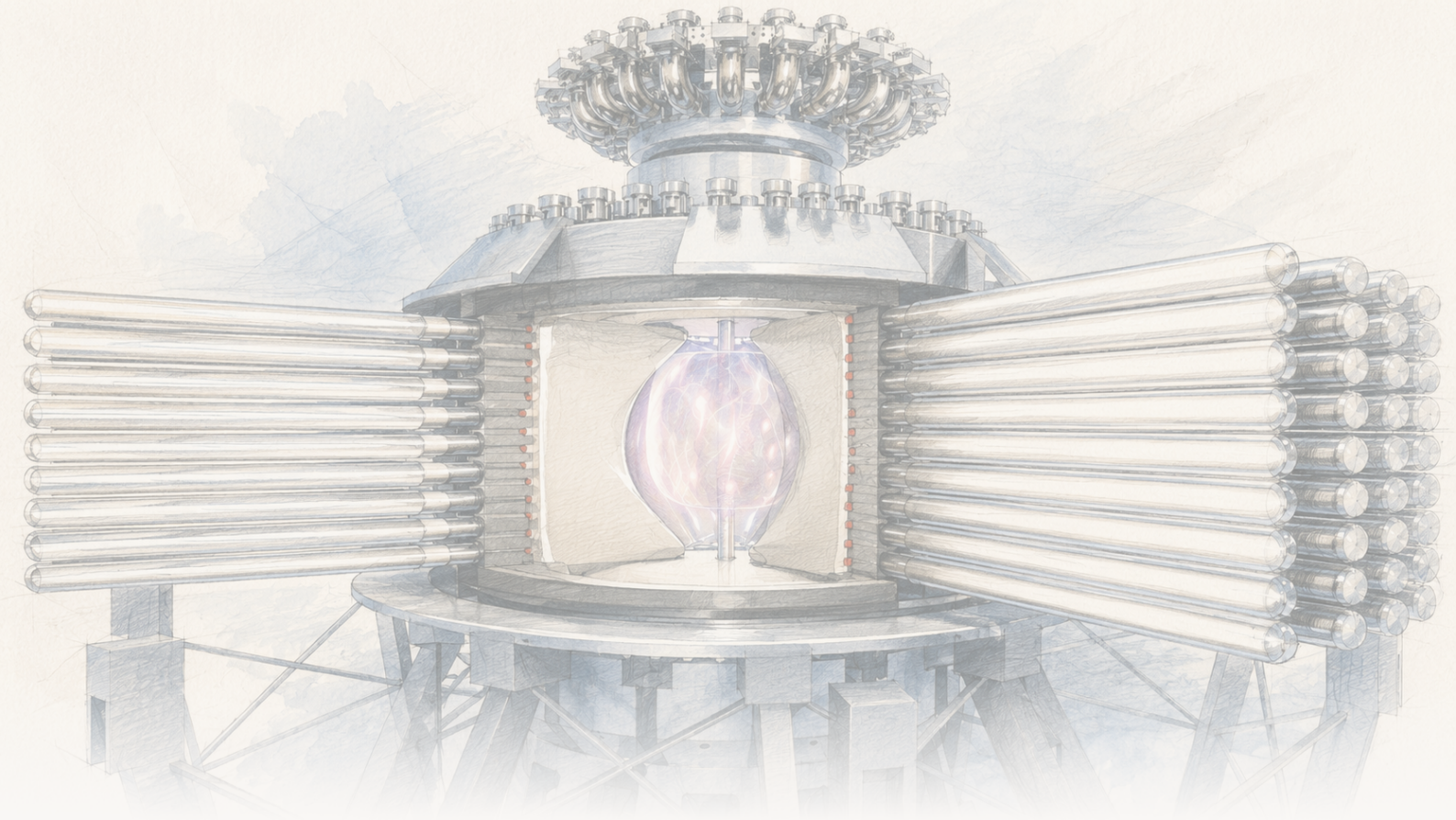


The Clean Paper

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

Një makinë fuzioni e ngrohu plazmën duke e ngjeshur — hapi real dhe termocentrali që nuk është

LM26 i General Fusion ngjeshi një plazmë deuteriumi të magnetizuar me një mbështjellës litiumi që implodonte dhe e pa të nxehej — temperatura elektronike u rrit më shumë se trefish deri në një kulm të matur rreth 0.72 keV (718 ± 80 eV, afërsisht 8 milionë °C), ndërsa analiza e kompanisë ia atribuon shumicën e ngrohjes vetë kompresimit, mekanizmit mbi të cilin mbështetet qasja e saj e fuzionit me objektiv të magnetizuar. Është një pikë kontrolli reale inxhinierike për këtë rrugë drejt fuzionit. Por janë edhe vetëm 11 shkrepjet e para në një makinë, të përshkruara në një preprint kompanie pa rishikim nga kolegët, në një temperaturë ende rreth dhjetë herë nën atë që kërkon një plazmë që digjet — pa energji neto, pa pikë barazimi dhe pa energji elektrike. Një mekanizëm i treguar, jo një termocentral i ndërtuar.

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *The science of compressional heating on the LM26 magnetized target fusion experiment*, S. J. Howard et al. (General Fusion), arXiv:2606.23974 [physics.plasm-ph] (preprint) · DOI: 10.48550/arXiv.2606.23974

Një makinë për fuzion e ngrohu plazmën duke e ngjeshur — ky është hapi real, jo termocentrali që ende nuk ekziston

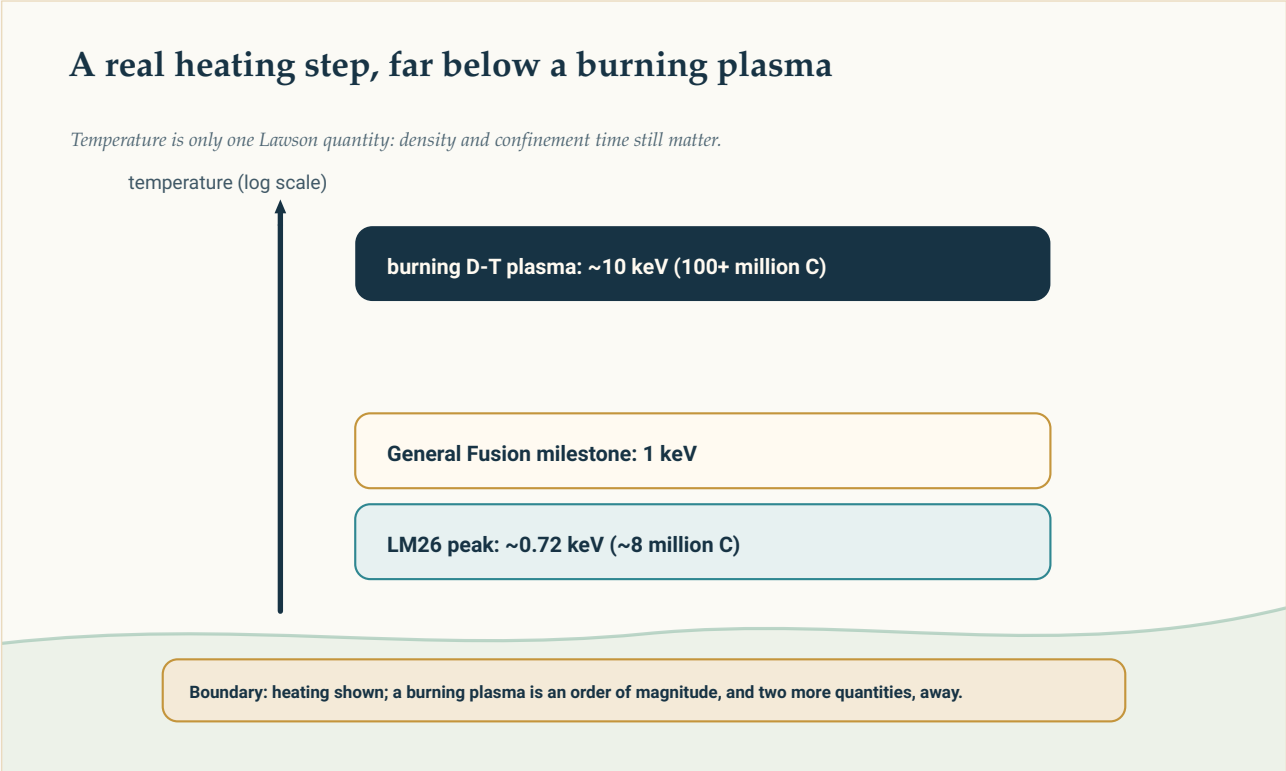
Që një reaktor fuzioni të japë më shumë energji sesa harxhon për të funksionuar, plazma e karburantit duhet të jetë njëkohësisht mjaft e nxehtë, mjaft e dendur dhe të mbahet e bashkuar për mjaftueshëm kohë — tre madhësitë që fizikantët i përmbledhin në atë që quhet kriteri i Lawson-it. Pjesa më e madhe e fushës përpiqet ta arrijë këtë me magnetë gjigantë superpërçues (tokamakë si ITER-i) ose me vargje lazerësh shumë të fuqishëm (ngujim inercial, si në National Ignition Facility në SHBA). Një grup më i vogël kompanish po vë bast te një rrugë e tretë, **fuzioni me objektiv të magnetizuar** (*magnetized target fusion*, MTF): formo një plazmë të ngrohtë dhe të magnetizuar, pastaj *ngjeshe* mekanikisht dhe shpejt, në mënyrë që vetë kompresimi ta ngrohë — si një motor dizel që ndez karburantin nga ngjeshja dhe jo nga një shkëndijë.

Në qershor 2026, kompania kanadeze **General Fusion** publikoi rezultate nga **Lawson Machine 26 (LM26)** që testojnë nëse ky supozim qendror qëndron vërtet: a e ngroh realisht një plazmë të magnetizuar kompresimi mekanik, ashtu siç parashikojnë modelet? Në 11 shkrepjet e para me kompresim — ku një plazmë deuteriumi në konfigurim tokamaku sferik u ngjesh nga një *mbështjellës i ngurtë litiumi që implodonte* — shkrepjet më të mira treguan se plazma bëhej dukshëm më e nxehtë, më e dendur dhe më e magnetizuar ndërsa ngjeshej; sipas analizës së kompanisë, pjesa më e madhe e ngrohjes vinte nga vetë kompresimi.

Ky është një rezultat real dhe specifik inxhinierik për qasjen MTF. Por është edhe vetëm seria e parë e shkrepjeve, e përshkruar në një **preprint të kompanisë që nuk është rishikuar nga kolegët**, në një temperaturë ende shumë më të ulët nga ajo që kërkon një plazmë që digjet — dhe nuk është energji fuzioni, nuk është pikë barazimi dhe nuk është termocentral.

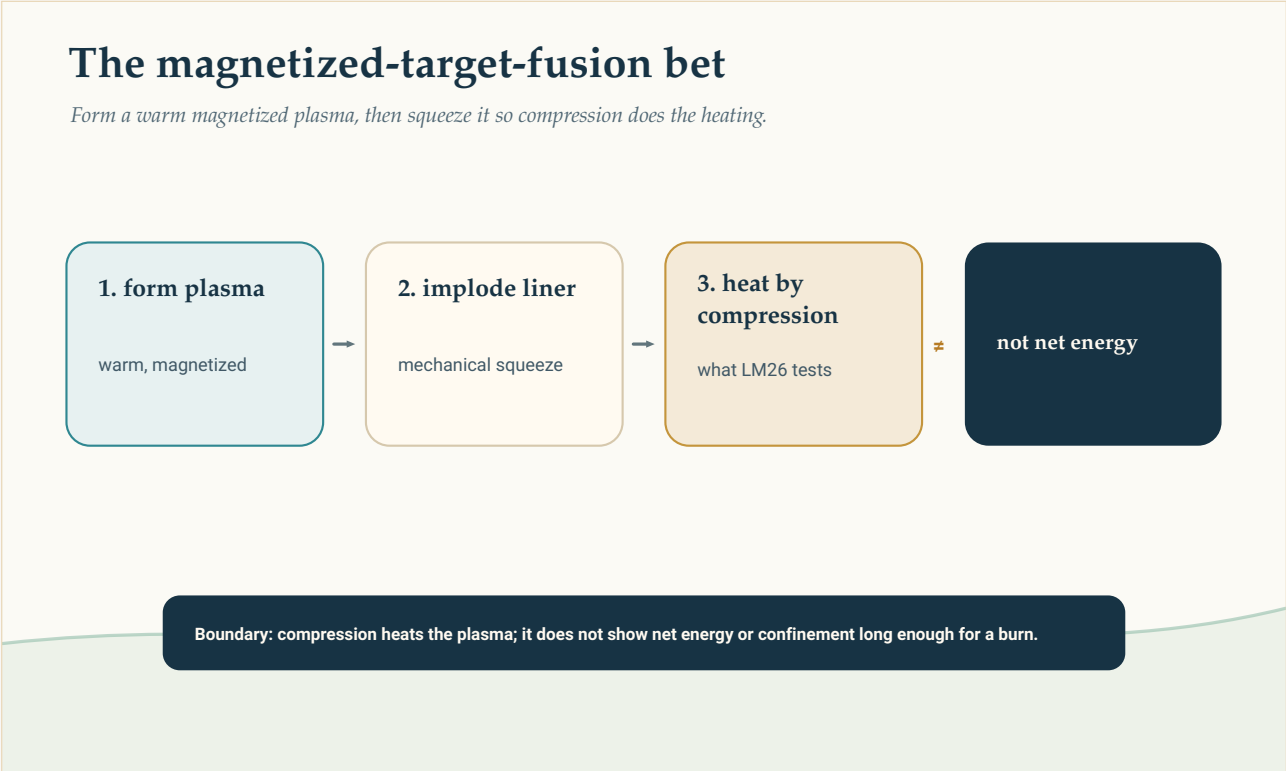
[video pending]

Këto janë pamje promovuese nga General Fusion, të përfshira për të treguar si duket LM26; nuk janë provë e pavarur se makina do të arrijë objektivat e ardhshëm të fuzionit.



Një shkallë temperaturash: rreth 0.72 keV për LM26, objektivi 1 keV i General Fusion dhe rreth 10 keV që kërkon një plazmë deuterium–tritium që digjet. Temperatura është vetëm një nga tri madhësitë e kriterit të Lawson-it.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0



Fuzioni me objektiv të magnetizuar: formo një plazmë të ngrohtë e të magnetizuar, pastaj kompresoje me një mbështjellës që implodon në mënyrë që ngjeshja të bëjë ngrohjen — basti i kompresimit si te motori dizel. LM26

testoi që kompresimi e ngroh plazmën; jo energjinë neto dhe jo kohën e ngujimit.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Çfarë nënkuptojnë "fuzioni me objektiv të magnetizuar", "keV" dhe kriteri i Lawson-it

Temperatura e plazmës në fuzion zakonisht jepet në **kiloelektronvolt (keV)** dhe jo në gradë: 1 keV është rreth **11.6 milionë °C**. Karburanti deuterium–tritium duhet të arrijë afërsisht **10 keV** (mbi 100 milionë °C) që të fuzionojë me efikasitet — por temperatura është vetëm një nga tri kushtet që duhen plotësuar njëherësh. **Kriteri i Lawson-it** thotë se një reaktor ka nevojë edhe për **dendësi** të mjaftueshme dhe **kohë ngujimi** të mjaftueshme, të kombinuara shpesh në një "produkt të trefishtë" (temperaturë × dendësi × kohë ngujimi). Ngrohja e plazmës është e domosdoshme, por vetë ajo është shumë larg së qenit e mjaftueshme.
Fuzioni me objektiv të magnetizuar (MTF) është një rrugë e ndërmjetme mes dy qasjeve kryesore. Në vend që ta mbajë një plazmë të nxehtë për kohë të gjatë me magnetë gjigantë, ose ta ngrohë një objektiv të vogël pothuajse menjëherë me lazer, MTF formon një plazmë të magnetizuar dhe pastaj e ngjesh mekanikisht në shkallë mikrosekondash. Nëse funksionon, kompresimi rrit si temperaturën, ashtu edhe dendësinë e plazmës — potencialisht duke arritur kushte fuzioni pa magnetë të shkallës së ITER-it ose lazerë të shkallës së NIF-it. Pikërisht për të testuar nëse kompresimi e jep vërtet këtë ngrohje në një makinë reale shërbejnë eksperimente si LM26.

Çfarë bënë autorët

- Ndërtuan dhe aktivizuan **LM26**, një makinë për fuzion me objektiv të magnetizuar në General Fusion: fillimisht krijohet një plazmë deuteriumi në formë tokamaku sferik, pastaj ngjeshet nga një **mbështjellës i ngurtë litiumi** që implodon drejt brendësisë — afërsisht **3× kompresim radial**.
- Kryen **11 shkrepjet e para me kompresim** dhe i instrumentuan me kujdes, duke rindërtuar me kohën temperaturën, dendësinë dhe fushën magnetike të plazmës dhe duke regjistruar neutronet, rrezet X dhe dritën e dukshme të emetuar, si dhe pamje me kamera të shpejta të ndërveprimit plazmë–mur.
- Ndërtuan një **model të integruar fizik** që balancon ngrohjen nga kompresimi me ngrohjen Ohmike (nga vetë rryma e plazmës) dhe energjinë e humbur në kufi, pastaj e krahasuan me të dhënat e matura për të vlerësuar nga vinte ngrohja.

Çfarë gjetën

- **Plazma u ngroh teksa u ngjesh.** Në shkrepjet më të mira, temperatura elektronike u rrit me **më shumë se 3×**, dendësia elektronike me rreth **10×** dhe fusha magnetike poloidale me rreth **10×**, të nxitura nga kompresimi radial 3×. Në shkrepjen më të mirë, punimi mat një **temperaturë kulmore elektronike rreth 0.72 keV** (718 ± 80 eV, me shpërndarje Thomson) — afërsisht 8 milionë

°C.

- **Sipas analizës, shumica e ngrohjes vjen nga kompresimi.** Modeli i integruar i autorëve përfundon se një *pjesë shumicë* e rritjes së temperaturës erdhi nga vetë kompresimi mekanik — mekanizmi mbi të cilin mbështetet e gjithë qasja MTF — dhe jo nga ngrohja Ohmike.
- **Emetimi i neutroneve u rrit gjatë kompresimit**, në përputhje me një plazmë deuteriumi më të nxehtë dhe më të dendur.

Çfarë nuk tregon ky rezultat

- **Nuk është** energji fuzioni, pikë barazimi ose fitim neto. Asgjë këtu nuk prodhoi më shumë energji sesa u harxhua për funksionim. Rezultati ka të bëjë me *ngrohjen e plazmës* — një hap në ciklin e fuzionit — jo me bilancin energjetik të një reaktori.
- Temperatura është **ende rreth dhjetë herë më e ulët** se ajo e një plazme që digjet. Rreth 0.72 keV janë afërsisht 8 milionë °C; karburanti deuterium–tritium kërkon rreth **10 keV (mbi 100 milionë °C)** *dhe* produkt të mjaftueshëm dendësi × kohë ngujimi për të mbajtur djegien. Objektivi i ardhshëm i vetë General Fusion është **1 keV** — edhe ai shumë larg ndezjes.
- "**Shumica e ngrohjes vjen nga kompresimi**" është një **përfundim i bazuar në model**, jo një lexim i drejtpërdrejtë. Ai del nga një model fizik i integruar i përshtatur me diagnostikimet; ndarja mes kompresimit, ngrohjes Ohmike dhe humbjeve varet nga besueshmëria e atij modeli.
- Është një **preprint i kompanisë, jo i rishikuar nga kolegët.** Rezultatet raportohen nga ekipi që e ndërtoi makinën dhe ka mbledhur kapital mbi premtimin e saj; rishikim i pavarur ende nuk ka ndodhur.
- Rritja e neutroneve **nuk** përfaqëson një rendiment fuzioni me rëndësi energjetike. Në këto kushte priten disa neutrone nga deuteriumi, shumë larg çdo niveli të dobishëm për prodhim energjie.
- Nuk thotë asgjë për deklaratën e veçantë të kompanisë se një **central i ardhshëm do të furnizojë rrjetin elektrik** — një pretendim që raportimet e pavarura e kanë trajtuar me shumë kujdes.

Sa e fortë është prova

- **Pretendimi kryesor është i ngushtë dhe i verifikueshëm.** "Ngjeshëm një plazmë të magnetizuar dhe ajo u nxeh, kryesisht për shkak të kompresimit" është pikërisht testi i mekanizmit që duhet të kalojë qasja MTF, dhe punimi e mbështet me një seri shkrepjesh të instrumentuara gjerësisht dhe me një model të qartë të bilancit të energjisë. Nëse i qëndron rishikimit nga kolegët, është një vërtetim real — ndonëse i hershëm — i qasjes.
- **Kufizimet janë strukturore, jo kozmetike.** Njëmbëdhjetë shkrepje, një makinë, një ekip, ende pa rishikim dhe një temperaturë kryesore një rend madhësie poshtë një plazme që digjet. Përfundimi që mban peshën kryesore — *shumica e ngrohjes nga kompresimi* — mbështetet në model, ndaj pyetja kryesore e rishikimit është sa e fortë është kjo ndarje.
- **Statusi i ndershëm është: mekanizmi u demonstrua, jo se u arrit një piketë energjie.** Rezultati e lëviz MTF nga "kompresimi *duhet* ta ngrohë plazmën" drejt "kompresimi *e ngroh* plazmën", dhe jo më larg se kaq.

Pse ka rëndësi

Ajo që e bën interesant fuzionin me objektiv të magnetizuar është ekonomia, jo rekordet. Nëse kompresimi mekanik mund ta ngrohë një plazmë drejt kushteve të fuzionit, në parim mund të shmangen magnetët e shkallës së ITER-it ose lazerët e shkallës së NIF-it — një rrugë më e lirë dhe me iterim më të shpejtë, *nëse* funksionon. Ky "nëse" është thelbi, dhe varet nga kontrolle jo shumë spektakolare si ky: a e jep vërtet kompresimi ngrohjen që premtojnë modelet? Për 11 shkrepjet e para, LM26 jep një "po" me shumë kushte. Vlen të shënohet pikërisht sepse është i kushtëzuar — një shkallë e vetme në një shkallare të gjatë, e raportuar nga njerëzit që po e ngjisin, ende pa u kontrolluar nga të tjerë dhe shumë larg majës.

Përmbledhje e shkurtër

LM26 i General Fusion ngjeshi një plazmë deuteriumi të magnetizuar me një mbështjellës litiumi që implodonte dhe tregoi se plazma u ngroh — temperatura elektronike u rrit më shumë se trefish deri në një kulm të matur rreth 0.72 keV (718 ± 80 eV, rreth 8 milionë °C) — ndërsa analiza e kompanisë ia atribuon pjesën më të madhe të ngrohjes vetë kompresimit, mekanizmit mbi të cilin mbështetet qasja e saj MTF. Ky është një hap real dhe specifik inxhinierik për këtë rrugë të fuzionit. Por janë edhe 11 shkrepjet e para në një makinë, të përshkruara në një preprint të kompanisë pa rishikim nga kolegët, në një temperaturë rreth dhjetë herë më të ulët nga ajo që kërkon një plazmë që digjet, pa energji neto, pa pikë barazimi dhe pa energji elektrike. Një mekanizëm i treguar, jo një termocentral i ndërtuar.

Burimet

S. J. Howard et al. (General Fusion), The science of compressional heating on the LM26 magnetized target fusion experiment, arXiv:2606.23974 [physics.plasm-ph] (2026)
https://arxiv.org/abs/2606.23974

General Fusion, 'General Fusion Achieves Compressional Plasma Heating with LM26 Magnetized Target Fusion Machine' (company announcement, June 2026)
https://generalfusion.com/post/general-fusion-achieves-compressional-plasma-heating-with-lm26-magnet

Nature news, 'Nuclear-fusion firm says plant will deliver electricity to grid - but big questions remain' (2026)
https://www.nature.com/articles/d41586-026-01795-z