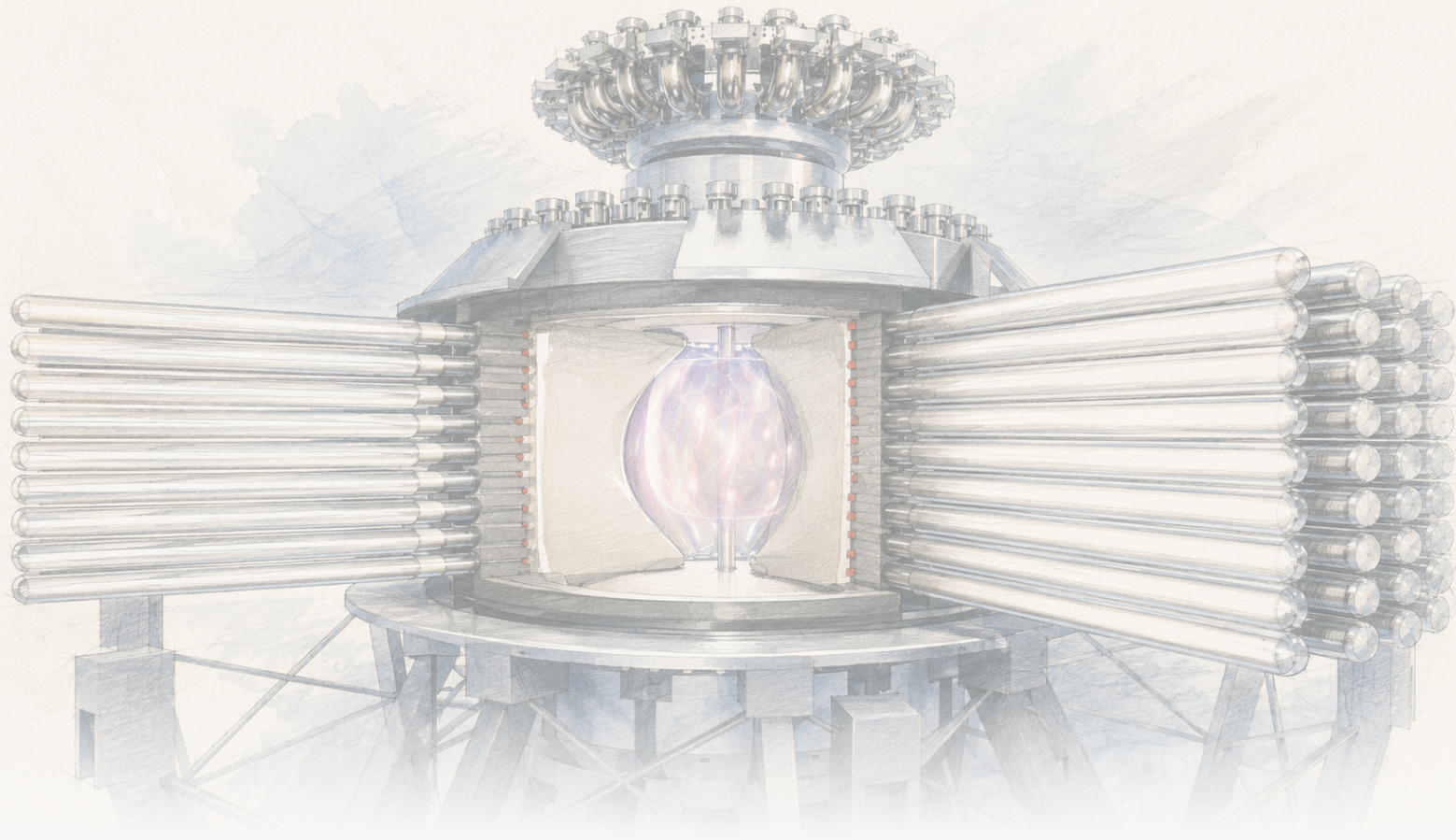




The CLEAN PAPER

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

O mașină de fuziune și-a încălzit plasma strângând-o — pasul real, și centrala care nu este

LM26 de la General Fusion a comprimat o plasmă magnetizată de deuteriu cu un liner de litiu care implodează și a văzut-o încălzindu-se — mai mult decât triplând temperatura electronică până la un vârf măsurat de aproximativ $0,72 \text{ keV}$ ($718 \pm 80 \text{ eV}$, în jur de 8 milioane de $^{\circ}\text{C}$), cu cea mai mare parte a încălzirii atribuită compresiei înseși, mecanismul pe care se sprijină abordarea sa de fuziune cu țintă magnetizată. Este un reper ingineresc real pentru acea cale spre fuziune. Este și primul grup de 11 shot-uri pe o singură mașină, descris într-un preprint al companiei încă neevaluat inter pares, la o temperatură încă de aproximativ zece ori sub cea de care are nevoie o plasmă care arde — fără energie netă, fără breakeven, fără electricitate. Un mecanism arătat, nu o centrală construită.

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

O mașină de fuziune și-a încălzit plasma strângând-o — pasul real, și centrala care nu este

Ca un reactor de fuziune să dea înapoi mai multă energie decât consumă pentru a funcționa, o plasmă de combustibil trebuie să fie, toate deodată, suficient de fierbinte, suficient de densă și ținută laolaltă suficient de mult timp — cele trei mărimi cuprinse în ceea ce fizicienii numesc criteriul Lawson. Cea mai mare parte a domeniului urmărește asta cu magneți supraconductori enormi (tokamak-uri precum ITER) sau cu șiruri de lasere uriașe (confinare inerțială, ca la National Ignition Facility din SUA). Un grup mai restrâns de companii pariază pe o a treia cale, **fuziunea cu țintă magnetizată** (MTF): se formează o plasmă caldă și magnetizată, apoi este *strivită* mecanic, rapid, astfel încât comprimarea să facă încălzirea — așa cum un motor diesel își aprinde combustibilul prin compresie, nu cu o scânteie.

În iunie 2026, compania canadiană **General Fusion** a publicat rezultatele mașinii sale **Lawson Machine 26 (LM26)** care testează chiar acest pariu central: comprimarea mecanică a unei plasme magnetizate chiar o încălzește, așa cum promit modelele? În primele 11 shot-uri de compresie — în care o plasmă de deuteriu într-un tokamak sferic a fost strânsă de un **liner solid de litu** care implodează — cele mai bune shot-uri au arătat plasma devenind vizibil mai fierbinte, mai densă și mai puternic magnetizată pe măsură ce era comprimată, iar analiza companiei atribuie cea mai mare parte a acelei încălziri compresiei înseși.

Este un rezultat ingineresc real și specific pentru abordarea MTF. Este și un prim grup de shot-uri, descris într-un **preprint al companiei care nu a fost încă evaluat inter pares**, la o temperatură încă mult sub cea de care are nevoie o plasmă care arde — și nu este energie din fuziune, nu este breakeven și nu este o centrală.

[video pending]

Acesta este material video promoțional de la General Fusion, inclus pentru a arăta cum arată LM26; nu este o dovadă independentă că mașina își va atinge viitoarele repere de fuziune.

Un pas real de incalzire, mult sub o plasma care arde

Temperatura este doar o marime Lawson: densitatea si timpul de confinare conteaza inca.

temperatura (scara log)

plasma D-T arzand: ~10 keV (peste 100 milioane C)

milestone General Fusion: 1 keV

varf LM26: ~0,72 keV (~8 milioane C)

Limita: incalzire aratata; o plasma care arde este la un ordin de marime si doua marimi distanta.

O scară a temperaturii: cei aproximativ 0,72 keV ai LM26, obiectivul de 1 keV al General Fusion și cei aproximativ 10 keV de care are nevoie o plasmă deuteriu-tritiu care arde. Temperatura este doar una dintre cele trei mărimi Lawson.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Pariul fuziunii cu tinta magnetizata

Formeaza o plasma calda magnetizata, apoi strange-o astfel incat compresia sa o incalzeasca.

1. formeaza
plasma

calda, magnetizata

2. implozie a
linerului

strangere mecanica

3. incalzire prin
compresie

ce testeaza LM26

nu energie neta

Limita: compresia incalzeste plasma; nu arata energie neta sau confinare destul de lunga pentru burn.

Fuziune cu țintă magnetizată: formezi o plasmă caldă și magnetizată, apoi o comprimi cu un liner care

implodează, astfel încât strângerea să facă încălzirea — pariul compresiei de tip diesel. LM26 a testat că această compresie încălzește plasma; nu energie netă sau confinare.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Ce înseamnă “fuziune cu țintă magnetizată”, “keV” și criteriul Lawson

În fuziune, temperatura plasmei se exprimă de obicei în **kiloelectronvolți (keV)** în loc de grade: 1 keV înseamnă aproximativ **11,6 milioane de °C**. Un combustibil deuteriu-tritiu trebuie să atingă în jur de **10 keV** (peste 100 de milioane de °C) pentru a fuziona eficient — dar temperatura este doar unul dintre cele trei lucruri care trebuie îndeplinite simultan. **Criteriul Lawson** spune că un reactor are nevoie și de suficientă **densitate** și de suficient **timp de confinare**, combinate de obicei într-un singur “produs triplu” (temperatură $\times$ densitate $\times$ timp de confinare). Încălzirea plasmei este necesară, dar de una singură este departe de a fi suficientă.

Fuziunea cu țintă magnetizată (MTF) este o cale de mijloc între cele două abordări principale. În loc să confineze o plasmă fierbinte mult timp cu magneți uriași, sau să încălzească o țintă minusculă aproape instantaneu cu lasere, MTF formează o plasmă magnetizată și apoi o comprimă mecanic în decurs de microsecunde. Dacă funcționează, compresia încălzește plasma și îi crește densitatea în același timp — atingând potențial condițiile de fuziune fără magneți la scara ITER sau lasere la scara NIF. Dacă compresia chiar furnizează acea încălzire, într-o mașină reală, este exact ceea ce testează un experiment ca LM26.

Ce au făcut autorii

- Au construit și au tras cu **LM26**, o mașină de fuziune cu țintă magnetizată de la General Fusion: se formează o plasmă de deuteriu într-un tokamak sferic, apoi este comprimată de un **liner solid de litiu** care implodează, împins spre interior — aproximativ o **compresie radială de $3\times$** .
- Au efectuat **primele 11 shot-uri de compresie** și le-au instrumentat masiv, reconstruind în timp temperatura, densitatea și câmpul magnetic al plasmei și înregistrând neutronii, razele X și lumina vizibilă emise, plus imagini cu cameră rapidă ale interacțiunii plasmă-perete.
- Au construit un **model fizic integrat** care echilibrează încălzirea din compresie cu încălzirea ohmică (din curentul propriu al plasmei) și energia pierdută la margine, apoi l-au comparat cu datele măsurate pentru a afla de unde a venit de fapt încălzirea.

Ce au găsit

- **Plasma s-a încălzit pe măsură ce era strânsă.** În cele mai bune shot-uri, temperatura electronică a crescut de **peste $3\times$** , densitatea electronică de aproximativ **$10\times$** , iar câmpul magnetic poloidal de aproximativ **$10\times$** , datorită compresiei radiale de $3\times$. În cel mai bun shot, articolul măsoară un **vârf al temperaturii electronice de aproximativ 0,72 keV** (718 ± 80 eV, prin împrăștiere Thomson) —

în jur de 8 milioane de °C.

- **Cea mai mare parte a încălzirii este atribuită compresiei.** Modelul lor integrat concluzionează că *majoritatea* creșterii de temperatură a venit din compresia mecanică însăși — mecanismul pe care se sprijină întreaga abordare MTF — și nu din încălzirea ohmică.
- **Emisia de neutroni a crescut în timpul compresiei**, în acord cu o plasmă de deuteriu mai fierbinte și mai densă.

Ce nu dovedește

- **Nu** este energie din fuziune, breakeven sau câștig net. Nimic aici nu a produs mai multă energie decât a fost nevoie pentru a funcționa. Rezultatul se referă la *încălzirea unei plasme* — un pas din ciclul de fuziune — nu la bilanțul energetic al unui reactor.
- Temperatura este **încă de aproximativ zece ori sub** cea a unei plasme care arde. Aproximativ 0,72 keV înseamnă în jur de 8 milioane de °C; un combustibil deuteriu-tritiu are nevoie de ordinul a **10 keV (peste 100 de milioane de °C)** și de un produs densitate $\times$ timp de confinare suficient pentru a susține arderea. Următorul obiectiv al General Fusion însăși este **1 keV** — în sine departe de aprindere.
- **“Cea mai mare parte a încălzirii vine din compresie”** este o **concluzie bazată pe un model**, nu o citire directă. Provine dintr-un model fizic integrat potrivit pe datele de diagnosticare; cât de mult ai încredere în împărțirea între compresie, încălzire ohmică și pierderi depinde de cât de mult ai încredere în acel model.
- Este un **preprint al companiei, neevaluat inter pares**. Rezultatele sunt raportate chiar de echipa care a construit mașina și a strâns bani pe promisiunea ei; evaluarea independentă nu a avut încă loc.
- Creșterea de neutroni **nu** este o producție de fuziune relevantă pentru energie. Câțiva neutroni sunt de așteptat de la deuteriu în aceste condiții, mult sub orice util pentru a produce putere.
- Nu spune nimic despre declarația separată a companiei conform căreia o **viitoare centrală va furniza electricitate în rețea** — o afirmație pe care jurnalismul independent a tratat-o cu multă prudență.

Cât de puternice sunt dovezile

- **Afirmația centrală este îngustă și verificabilă.** “Am comprimat o plasmă magnetizată și a devenit mai fierbinte, mai ales din cauza compresiei” este exact testul de mecanism pe care abordarea MTF trebuie să îl treacă, iar articolul îl susține cu un set de shot-uri puternic instrumentate și cu un model explicit de bilanț energetic. Dacă trece de evaluarea inter pares, este o validare autentică — deși timpurie — a abordării.
- **Rezervele sunt structurale, nu cosmetice.** Unsprezece shot-uri, o mașină, o echipă, încă neevaluate, și o temperatură de vârf cu un ordin de mărime sub o plasmă care arde. Concluzia de bază — *majoritatea încălzirii vine din compresie* — se sprijină pe un model, așa că întrebarea centrală a evaluării este dacă acea împărțire este robustă.

- **Concluzia prudentă este: un mecanism demonstrat, nu un reper spre energie revendicat.** Împinge MTF de la “compresia *ar trebui* să încălzească plasma” spre “compresia *încălzește* plasma”, și nimic mai grandios.

De ce contează

Lucrul interesant la fuziunea cu țintă magnetizată este economia, nu recordurile. Dacă compresia mecanică poate încălzi o plasmă spre condițiile de fuziune, poate se ajunge acolo fără magneți la scara ITER sau lasere la scara NIF — o cale mai ieftină și mai rapid de iterat, *dacă* funcționează. Acel “dacă” este tot jocul, și depinde de puncte de verificare nespectaculoase ca acesta: compresia chiar furnizează încălzirea pe care o promet modelele? Răspunsul LM26, la primele sale shot-uri, este un da cu rezerve. Și merită notat tocmai *pentru că* este cu rezerve — o treaptă a unei scări lungi, raportată de cei care o urcă, încă neverificată de altcineva, și mult sub vârf.

Pe scurt

LM26 de la General Fusion a comprimat o plasmă magnetizată de deuteriu cu un liner de litiu care implodează și a văzut-o încălzindu-se — mai mult decât triplând temperatura electronică până la un vârf măsurat de aproximativ 0,72 keV (718 ± 80 eV, ~8 milioane de °C) — cu analiza companiei atribuind cea mai mare parte a încălzirii compresiei înseși, mecanismul pe care se sprijină abordarea sa de fuziune cu țintă magnetizată. Este un pas ingineresc real și specific pentru această cale spre fuziune. Este și primul grup de 11 shot-uri pe o singură mașină, descris într-un preprint al companiei încă neevaluat inter pares, la o temperatură de aproximativ zece ori sub cea de care are nevoie o plasmă care arde, fără energie netă, fără breakeven, fără electricitate. Un mecanism arătat, nu o centrală construită.

Surse

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>