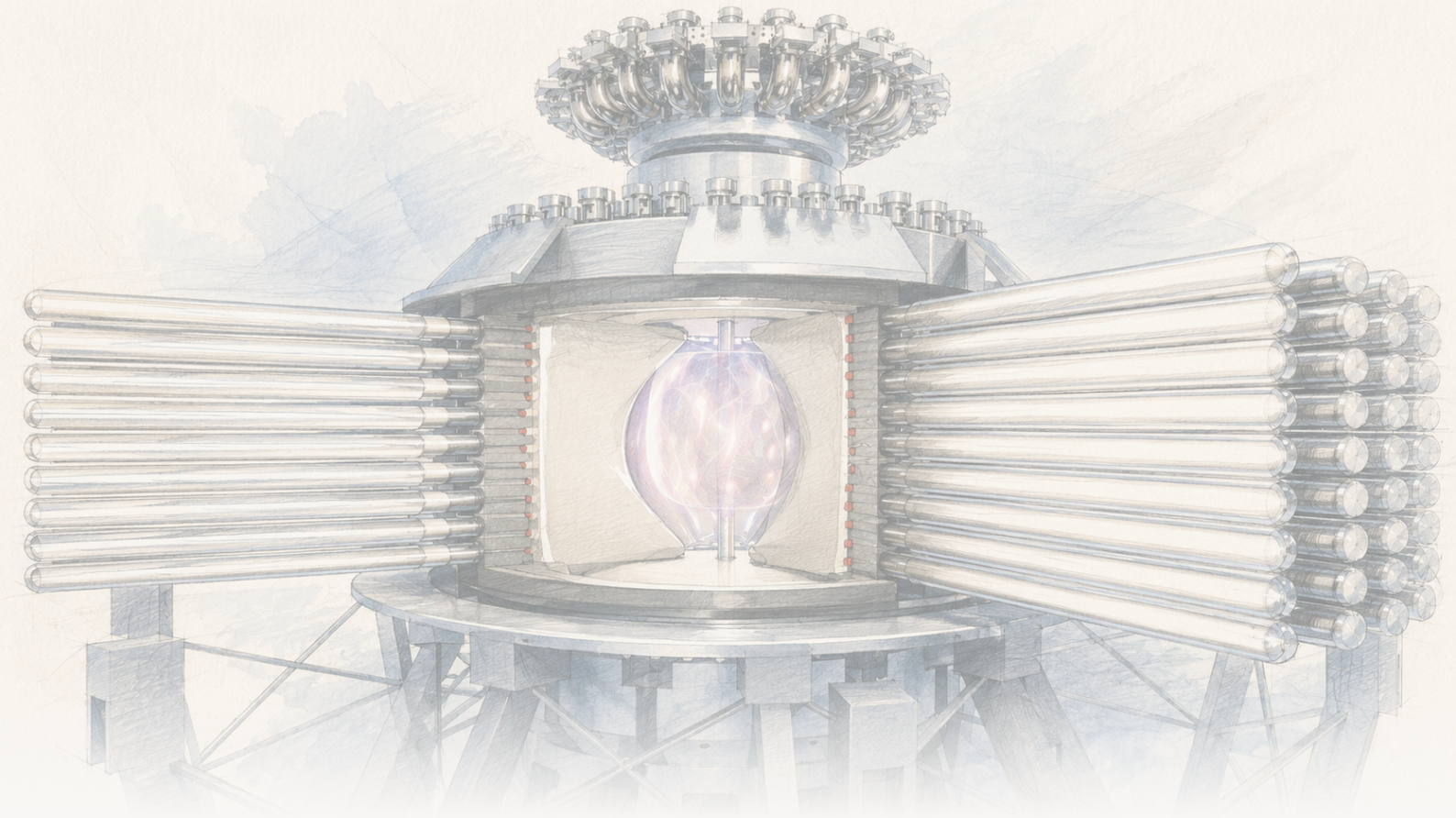


The Clean Paper

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

Fuzijska mašina zagrejala je plazmu stiskanjem — stvaran korak, ali ne i elektrana

LM26 kompanije General Fusion sabio je magnetizovanu deuterijsku plazmu implodirajućom litijevom oblogom i pokazao da se zagreva — temperatura elektrona porasla je više od tri puta, do izmerenog vrha od oko 0.72 keV (718 ± 80 eV, približno 8 miliona °C), a većina zagrevanja pripisana je samoj kompresiji, mehanizmu na kojem počiva njihov pristup fuziji magnetizovane mete. To je stvarna inženjerska kontrolna tačka za taj put prema fuziji. Ali to su i prvih 11 impulsa na jednom mašini, opisani u preprintu kompanije koji nije recenziran, pri temperaturi još oko deset puta nižoj od one potrebne gorućoj plazmi — bez neto energije, breakevena i električne energije. Pokazan mehanizam, ne izgrađena elektrana.

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

Fuzijska mašina zagrejala je plazmu stiskanjem — stvaran korak, ali ne i elektrana

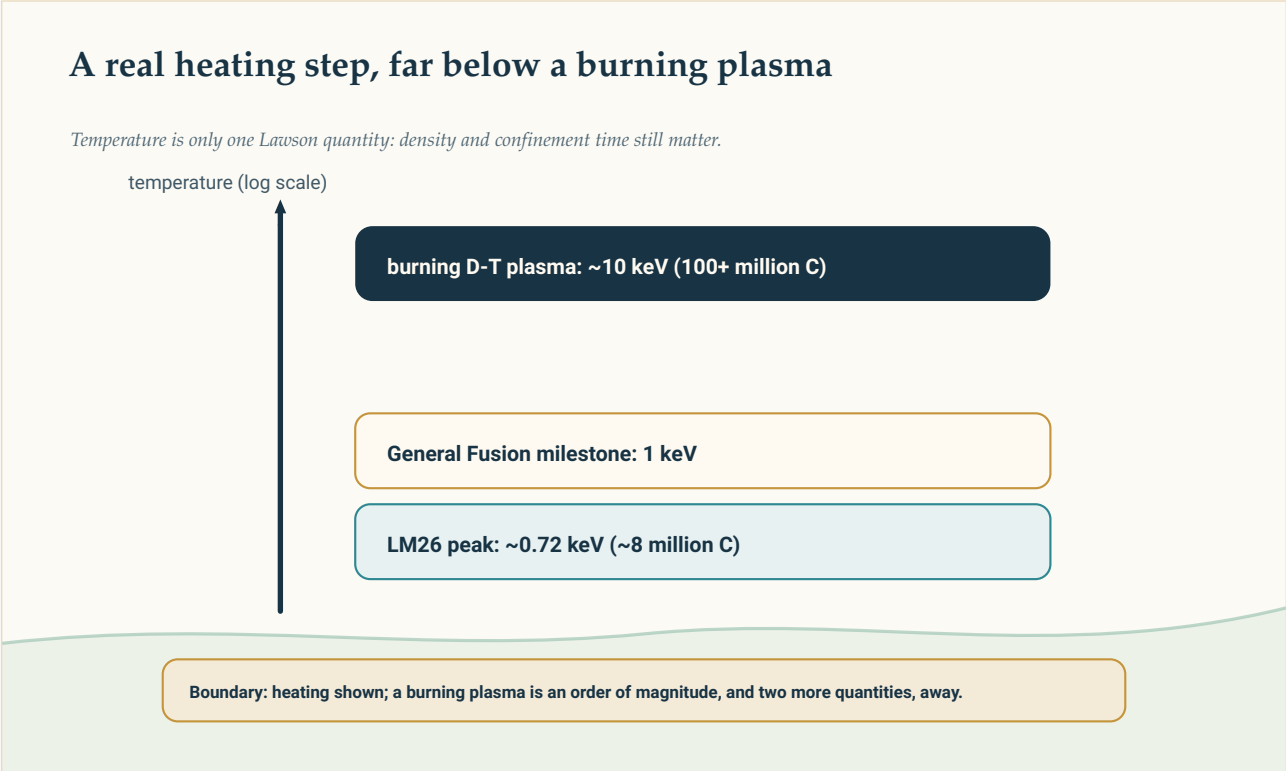
Da bi fuzijski reaktor vratio više energije nego što je potrebno za njegov rad, gorivna plazma mora istovremeno biti dovoljno vruća, dovoljno gusta i dovoljno dugo zadržana — tri veličine objedinjene u ono što fizičari zovu Lawsonov kriterij. Većina područja to pokušava postići ogromnim supravodljivim magnetima (tokamaci poput ITER-a) ili nizovima divovskih lasera (inercijsko zatočenje, kao u američkom National Ignition Facilityju). Manji broj kompanki kladi se na treći put, **fuziju magnetizovane mete** (MTF): najpre stvoriti toplu, magnetizovanu plazmu, a zatim je brzo mehanički *stisnuti* tako da samo stiskanje zagreva gorivo — slično kao što dizelski motor pali gorivo kompresijom, a ne iskrom.

U junu 2026. kanadska kompanija **General Fusion** objavila je rezultate svog **Lawson Machine 26 (LM26)** koji ispituju upravo tu centralnu pretpostavku: zagreva li mehaničko sabijanje magnetizovane plazme zaista plazmu onako kako modeli predviđaju? U prvih 11 kompresijskih impulsa — u kojima je deuterijska plazma sfernog tokamaka stisnuta implodirajućom *čvrstom litijevom oblogom* — najbolji su impulsi pokazali da plazma tokom kompresije postaje znatno toplija, gušća i jače magnetizovana, a analiza kompanije većinu tog zagrevanja pripisuje samoj kompresiji.

To je stvaran i specifičan inženjerski rezultat za MTF pristup. Ali to je i prvi niz impulsa, opisan u **preprintu kompanije koji nije recenziran**, pri temperaturi još daleko nižoj od one potrebne za goruću plazmu — i nije fuzijska energija, nije breakeven i nije elektrana.

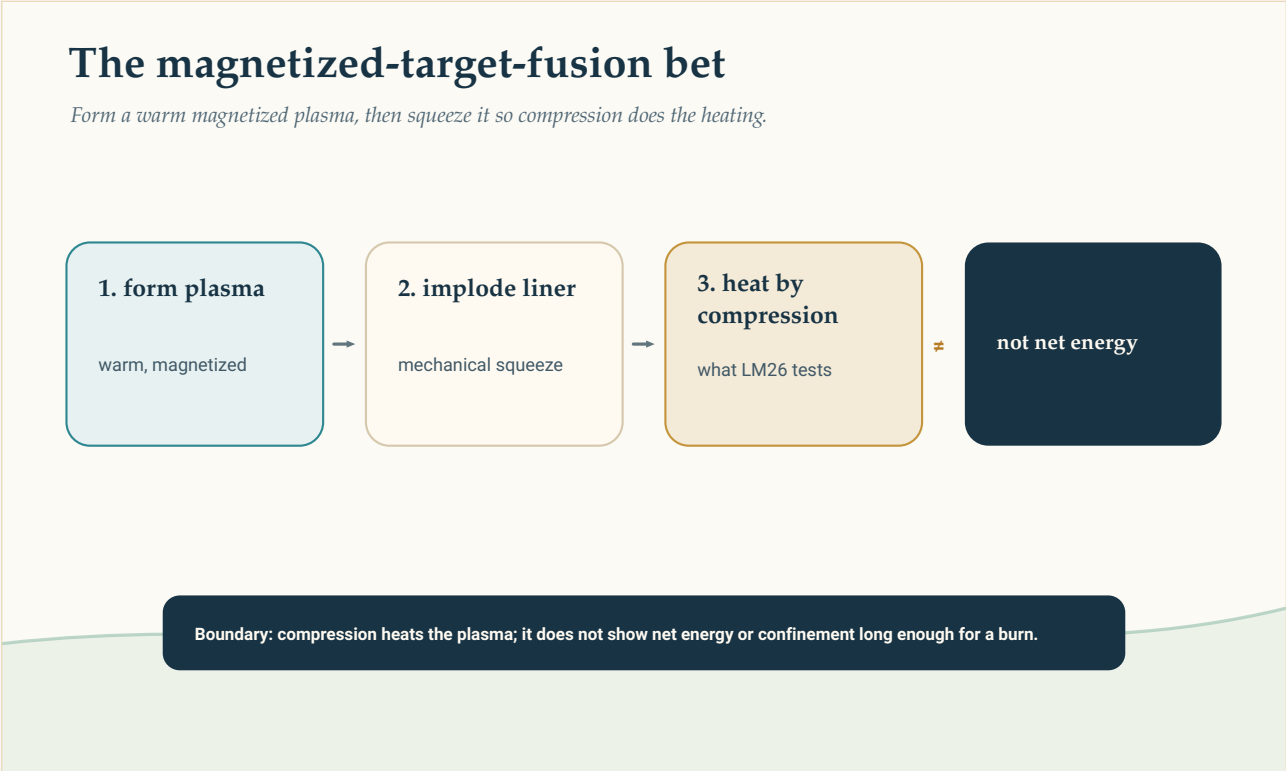
[video pending]

Ovo je promotivna snimka General Fusiona, uključena kako bi se videlo kako LM26 izgleda; nije nezavisni dokaz da će mašina dostići buduće fuzijske ciljeve.



Skala temperature: oko 0.72 keV za LM26, cilj General Fusiona od 1 keV i oko 10 keV potrebnih gorućoj deuterij–tricij plazmi. Temperatura je samo jedna od triju Lawsonovih veličina.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0



Fuzija magnetizovane mete: stvoriti toplu magnetizovanu plazmu, zatim je sabiti implodirajućom oblogom kako bi stiskanje obavilo zagrevanje — oklada na kompresiju poput one u dizelskom motoru. LM26 je ispitao zagreva

li kompresija plazmu; nije ispitao neto energiju ni zatočenje.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Šta znače „fuzija magnetizovane mete", „keV" i Lawsonov kriterij

Temperatura plazme u fuziji obično se navodi u **kiloelektronvoltima (keV)**, a ne u stepenima: 1 keV odgovara približno **11.6 miliona °C**. Deuterij–tricij gorivo mora dostići otprilike **10 keV** (više od 100 miliona °C) kako bi se efikasno fuzioniralo — ali temperatura je samo jedan od triju uslova koji moraju biti zadovoljeni istovremeno. **Lawsonov kriterij** kaže da reaktor treba i dovoljnu **gustinu** i dovoljno dugo **vreme zatočenja**, što se često objedinjuje u jedan „trostruki produkt" (temperatura × gustina × vreme zatočenja). Zagrevanje plazme nužno je, ali samo po sebi ni približno nije dovoljno.
Fuzija magnetizovane mete (MTF) srednji je put između dvaju glavnih pristupa. Umesto da se vruća plazma dugo zadržava ogromnim magnetima ili da se sićušna meta gotovo trenutno zagreje laserima, MTF stvar magnetizovanu plazmu i potom je mehanički sabija tokom mikrosekundi. Ako pristup uspe, kompresija istovremeno zagreva plazmu i povećava joj gustinu — potencijalno do fuzijskih uslova bez magneta veličine ITER-a ili lasera veličine NIF-a. proveriti proizvodi li kompresija to zagrevanje u stvarnom mašini upravo je svrha eksperimenata poput LM26.

Šta su autori uradili

- Izgradili su i pokrenuli **LM26**, mašina za fuziju magnetizovane mete kompanije General Fusion: stvar se deuterijska plazma sfernog tokamaka, a zatim je prema unutra sabija implodirajuća **čvrsta litijeva obloga** — otprilike **3× radijalna kompresija**.
- Proveli su **prvih 11 kompresijskih impulsa** s velikim brojem dijagnostičkih instrumenata, rekonstruisali temperaturu, gustinu i magnetsko polje plazme tokom vremena te beležili emitirane neutrone, rendgensko zračenje i vidljivu svetlost, kao i snimke interakcije plazme i stenke brzom kamerom.
- Izgradili su **integrisani fizički model** koji upoređuje zagrevanje kompresijom s omskim zagrevanjem (od sopstvene struje plazme) i energijom izgubljenom na granici, a zatim ga uporedili s izmerenim podacima kako bi procenili odakle zagrevanje zaista dolazi.

Šta su otkrili

- **Plazma se zagrevala dok je bila stiskana.** U najboljim impulsima temperatura elektrona porasla je za **više od 3×**, gustina elektrona za oko **10×**, a poloidalno magnetsko polje za oko **10×**, uz 3× radijalnu kompresiju. U najboljem impulsu rad meri **vršnu temperaturu elektrona od oko 0.72 keV** (718 ± 80 eV, Thomsonovim raspršenjem) — približno 8 miliona °C.
- **Većina zagrevanja pripisuje se kompresiji.** Njihov integrisani model zaključuje da je *većina* po-

rasta temperature došla od same mehaničke kompresije — mehanizma o kojem zavisi celi MTF pristup — a ne od omskog zagrevanja.
- **Emisija neutrona rasla je tokom kompresije**, što je u skladu s toplijom i gušćom deuterijskom plazmom.

Šta ovo ne pokazuje

- Ovo **nije** fuzijska energija, breakeven ni neto dobitak. Ništa ovde nije proizvelo više energije nego što je bilo potrebno za rad mašine. Rezultat se odnosi na *zagrevanje plazme* — jedan korak u fuzijskom ciklusu — a ne na energetsku bilancu reaktora.
- Temperatura je **i dalje oko deset puta preniska** za goruću plazmu. Oko 0.72 keV odgovara približno 8 miliona °C; deuterij–tricij gorivu potrebno je reda veličine **10 keV (više od 100 miliona °C)** *i* dovoljno visok produkt gustine i vremena zatočenja da bi se održalo izgaranje. Sledeći sopstveni cilj General Fusiona je **1 keV** — što je samo po sebi još daleko od paljenja.
- Tvrdnja da je „**većina zagrevanja posledica kompresije**" **zaključak zasnovan na modelu**, a ne direktno očitanje. Dobijena je integrisanim fizičkim modelom prilagođenim dijagnostičkim podacima; koliko verujete razdvajanju doprinosa kompresije, omskog zagrevanja i gubitaka zavisi od toga koliko verujete tom modelu.
- Reč je o **preprintu kompanije koji nije recenziran.** Rezultate izveštava isti tim koji je izgradio mašinu i prikupio finansiranje na osnovu njenih obećanja; nezavisna recenzija još nije sprovedena.
- Porast broja neutrona **nije** fuzijski prinos relevantan za proizvodnju energije. Pri ovim uslovima očekuje se nešto neutrona iz deuterija, ali količine su daleko ispod onoga što bi bilo korisno za energetiku.
- Rezultat ne govori ništa o zasebnoj tvrdnji kompanije da bi **buduća elektrana isporučivala struju u mrežu** — tvrdnji prema kojoj su nezavisni izveštaji bili izrazito oprezni.

Koliko su dokazi jaki

- **Centralna tvrdnja uska je i proverljiva.** „Sabili smo magnetizovanu plazmu i ona se zagrejala, uglavnom zbog kompresije" upravo je test mehanizma koji MTF mora proći, a rad ga podržava dobro instrumentiranim nizom impulsa i eksplicitnim modelom energetske bilance. Ako preživi recenziju, to je stvarna — iako rana — potvrda pristupa.
- **Ograničenja su strukturna, ne kozmetička.** Jedanaest impulsa, jedna mašina, jedan tim, rad još nije recenziran, a glavna temperatura za celi je red veličine ispod goruće plazme. Ključni zaključak — da *većina zagrevanja dolazi od kompresije* — počiva na modelu, pa će centralno pitanje recenzije biti koliko je to razdvajanje robusno.
- **Pošten status je demonstriran mehanizam, ne ostvarena energetska prekretnica.** Rezultat pomiče MTF od „kompresija bi *trebala* zagrejati plazmu" prema „kompresija *zagreva* plazmu", i ne opravdava ništa grandioznije od toga.

Zašto je to važno

Zanimljivost fuzije magnetizovane mete više je ekonomska nego rekordna. Ako mehanička kompresija može zagrejati plazmu prema fuzijskim uslovima, možda se do njih može doći bez magneta veličine ITER-a ili lasera veličine NIF-a — jeftinijim putem koji se brže može iterirati, *ako* radi. Cela igra je u tom „ako”, a on se odlučuje na neglamuroznim kontrolnim tačkama poput ove: da li kompresija zaista daje zagrevanje koje modeli obećavaju? Odgovor LM26 na prvim impulsima glasi: uslovno da. Vredi ga zabeležiti upravo *zato što* je uslovan — jedna prečka na dugim ljestvama, o kojoj izveštavaju ljudi koji se po njima penju, koju još niko drugi nije proverio i koja je još daleko od vrha.

Kratak rezime

LM26 kompanije General Fusion sabio je magnetizovanu deuterijsku plazmu implodirajućom litijevom oblogom i pokazao da se plazma zagreva — temperatura elektrona porasla je više od tri puta, do izmerenog vrha od oko 0.72 keV (718 ± 80 eV, ~8 miliona °C) — a analiza kompanije većinu zagrevanja pripisuje samoj kompresiji, mehanizmu na kojem počiva njihov pristup fuziji magnetizovane mete. To je stvaran i specifičan inženjerski korak na tom putu prema fuziji. Ali to su i prvih 11 impulsa na jednoj mašini, opisani u preprintu kompanije koji nije recenziran, pri temperaturi oko deset puta nižoj od one potrebne gorućoj plazmi, bez neto energije, breakevena i električne energije. Pokazan mehanizam, ne izgrađena elektrana.

Izvori

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