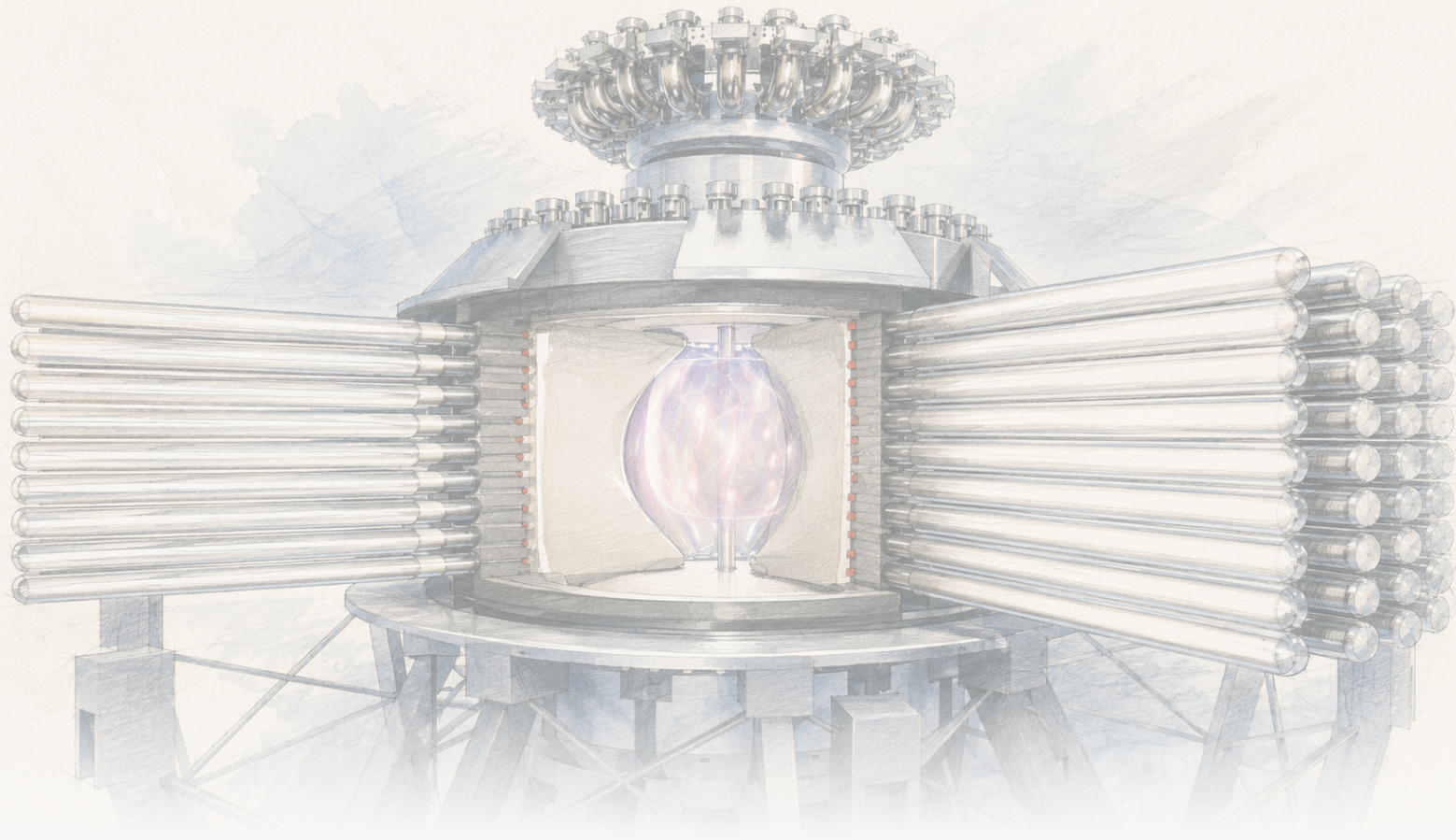




The CLEAN PAPER

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

Fúzne zariadenie zohrialo plazmu stlačením — skutočný krok, nie elektráreň

Zariadenie LM26 spoločnosti General Fusion stlačilo magnetizovanú deutériovú plazmu implodujúcou lítiovou vložkou a sledovalo jej ohrev — teplota elektrónov vzrástla viac než trojnásobne na nameranú špičku približne 0,72 keV (718 ± 80 eV, asi 8 miliónov °C), pričom väčšina ohrevu sa pripisuje samotnej kompresii, mechanizmu prístupu MTF. Pre túto cestu k fúzii je to skutočný technický kontrolný bod. Zároveň ide o prvých 11 výstrelov jediného zariadenia, opísaných vo firemnom preprinte bez recenzného konania, pri teplote stále približne desaťkrát nižšej, než potrebuje horiaca plazma — bez čistej energie, energetickej rovnováhy či elektriny. Preukázaný mechanizmus, nie postavená elektráreň.

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

Fúzne zariadenie zohrialo plazmu stlačením — skutočný krok, nie elektráreň

Aby fúzny reaktor dodal viac energie, než spotrebuje na svoju prevádzku, musí byť palivová plazma súčasne dostatočne horúca a hustá a musí zostať pohromade dostatočne dlho — tieto tri veličiny spája Lawsonovo kritérium. Väčšina odboru sa o to snaží pomocou obrovských supravodivých magnetov (tokamaky ako ITER) alebo sústav obrovských laserov (inerciálne udržanie ako v americkom National Ignition Facility). Menšia skupina firiem stavia na tretiu cestu, **fúziu s magnetizovaným terčom** (magnetized target fusion, MTF): vytvoriť teplú, magnetizovanú plazmu a potom ju rýchlo mechanicky *stlačiť*, aby samotná kompresia dodala teplo — podobne ako vznetový motor zapaluje palivo stlačením namiesto iskry.

V júni 2026 zverejnila kanadská spoločnosť **General Fusion** výsledky zariadenia **Lawson Machine 26 (LM26)**, ktoré overujú, či tento základný predpoklad skutočne funguje: zohrieva mechanické stlačenie magnetizovanej plazmy naozaj tak, ako predpovedajú modely? V prvých 11 kompresných výstreloch — pri ktorých implodujúca *pevná lítiová vložka* stláčala deutériovú plazmu sférického tokamaku — ukázali najlepšie pokusy zreteľný rast teploty, hustoty a magnetizácie plazmy a analýza spoločnosti pripisuje väčšinu ohrevu samotnej kompresii.

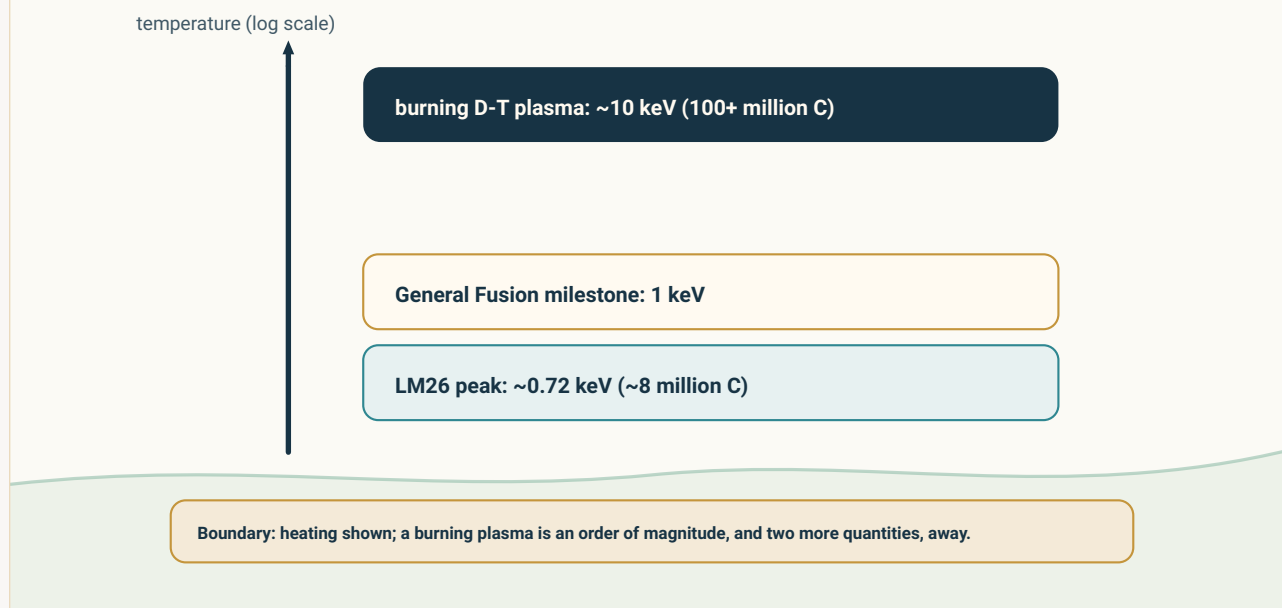
Pre prístup MTF je to skutočný, konkrétny technický výsledok. Zároveň ide o prvý súbor výstrelů opísaný vo **firemnom preprinte bez odborného recenzného konania**, pri teplote stále výrazne nižšej, než potrebuje horiaca plazma — nie je to fúzna energia, energetická rovnováha ani elektráreň.

[video pending]

Ide o propagačný záznam spoločnosti General Fusion priložený pre predstavu, ako LM26 vyzerá; nie je nezávislým dôkazom, že zariadenie dosiahne budúce fúzne ciele.

A real heating step, far below a burning plasma

Temperature is only one Lawson quantity: density and confinement time still matter.

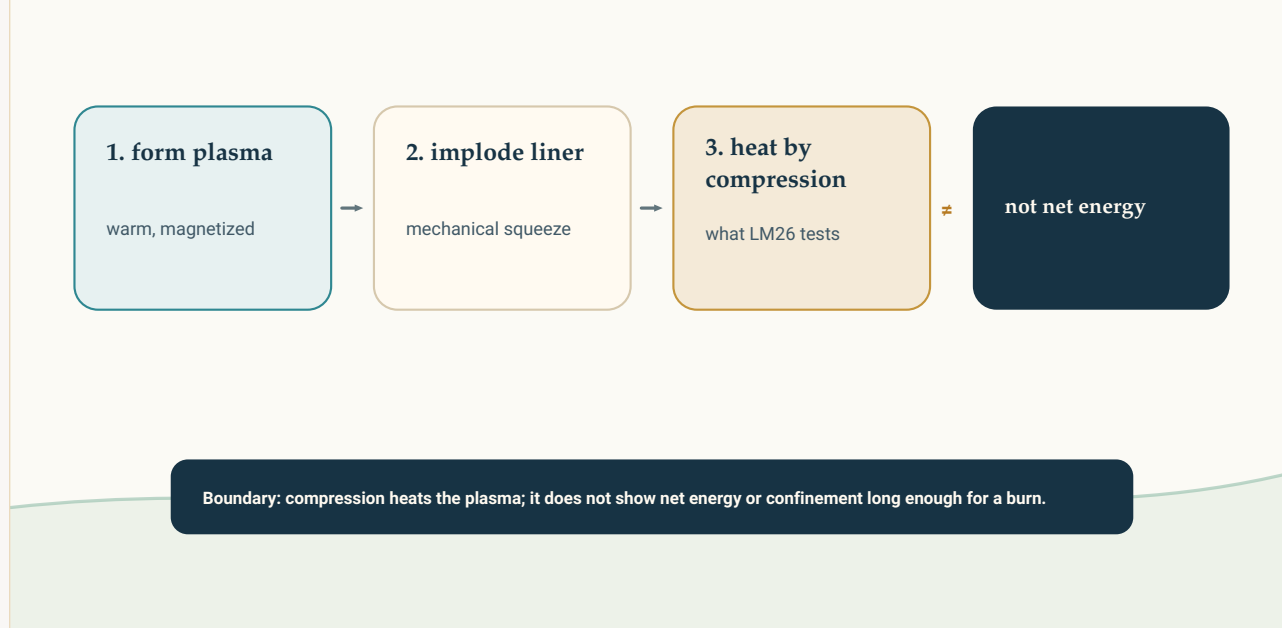


Teplotný rebrík: približne 0,72 keV v LM26, cieľ General Fusion 1 keV a asi 10 keV potrebných pre horiacu deutériovo-tríciovú plazmu. Teplota je iba jednou z troch veličín Lawsonovho kritéria.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

The magnetized-target-fusion bet

Form a warm magnetized plasma, then squeeze it so compression does the heating.



Fúzia s magnetizovaným terčom: vytvoriť teplú magnetizovanú plazmu a potom ju stlačiť implodujúcou vložkou, aby ju kompresia zohrialala — princíp podobný stlačeniu vo vznietovom motore. LM26 testovalo ohrev plazmy

kompresiou, nie čistý energetický zisk ani čas udržania.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Čo znamenajú „fúzia s magnetizovaným terčom“, „keV“ a Lawsonovo kritérium

Teplota plazmy sa vo fúznej fyzike zvyčajne udáva v **kiloelektrónvoltoch (keV)**, nie v stupňoch: 1 keV zodpovedá približne **11,6 milióna °C**. Palivo z deutéria a trícia musí dosiahnuť približne **10 keV** (viac než 100 miliónov °C), aby účinne fúzovalo — teplota je však iba jednou z troch podmienok, ktoré musia byť splnené súčasne. **Lawsonovo kritérium** vyžaduje aj dostatočnú **hustotu** a dostatočný **čas udržania**, ktoré sa zvyčajne spájajú do jediného „trojného súčinu“ (teplota $\times$ hustota $\times$ čas udržania). Zohriať plazmu je nevyhnutné, samo osebe to však ani zďaleka nestačí.

Fúzia s magnetizovaným terčom (MTF) je prostrednou cestou medzi dvoma hlavnými prístupmi. Namiesto dlhodobého udržiavania horúcej plazmy obrovskými magnetmi alebo takmer okamžitého ohrevu malého terča lasermi vytvorí MTF magnetizovanú plazmu a počas mikrosekúnd ju mechanicky stlačí. Ak to funguje, kompresia plazmu zároveň zohrieva a zvyšuje jej hustotu — a môže tak dosiahnuť fúzne podmienky bez magnetov v mierke ITER alebo laserov v mierke NIF. Práve testy ako LM26 majú ukázať, či kompresia v skutočnom zariadení tento ohrev naozaj poskytuje.

Čo autori urobili

- Postavili a spustili **LM26**, zariadenie MTF spoločnosti General Fusion: najprv sa vytvorí deutériová plazma sférického tokamaku, ktorú potom stlačí dovnútra hnaná implodujúca **pevná lítiová vložka** — približne **3 $\times$ radiálne stlačenie**.
- Uskutočnili **prvých 11 kompresných výstrelův** s rozsiahlym meracím vybavením, rekonštruovali vývoj teploty, hustoty a magnetického poľa plazmy v čase a zaznamenávali emitované neutróny, röntgenové a viditeľné žiarenie aj rýchle kamerové zábery interakcie plazmy so stenou.
- Vytvorili **integrovaný fyzikálny model**, ktorý vyvažuje ohrev kompresiou, ohmický ohrev (vlastným prúdom plazmy) a energiu stratenú na rozhraní, a potom ho porovnali s nameranými údajmi, aby určili skutočný zdroj ohrevu.

Čo zistili

- **Plazma sa pri stlačení zohrievala.** V najlepších výstreloch vzrástla teplota elektrónov **viac než 3 $\times$** , elektrónová hustota približne **10 $\times$** a poloidálne magnetické pole asi **10 $\times$** , a to v dôsledku 3 $\times$ radiálneho stlačenia. V najlepšom výstrele práca namerala **špičkovú teplotu elektrónov približne 0,72 keV** (718 ± 80 eV, Thomsonovým rozptylom) — približne 8 miliónov °C.
- **Väčšina ohrevu sa pripisuje kompresii.** Integrovaný model dospieva k záveru, že *väčšina* nárastu teploty pochádzala zo samotného mechanického stlačenia — mechanizmu, od ktorého závisí celý

prístup MTF — a nie z ohmického ohrevu.

- **Emisia neutrónov počas kompresie vzrástla**, čo zodpovedá teplejšej a hustejšej deutériovej plazme.

Čo to neukazuje

- **Nejde** o fúziu energiu, energetickú rovnováhu ani čistý zisk. Nič tu nevyrobilo viac energie, než koľko prevádzka spotrebovala. Výsledok sa týka *ohrevu plazmy* — jedného kroku fúzneho cyklu — nie energetickej bilancie reaktora.
- Teplota je stále **približne desaťkrát nižšia**, než potrebuje horiaca plazma. Hodnota asi 0,72 keV zodpovedá približne 8 miliónom °C; palivo z deutéria a trícia potrebuje rádovo **10 keV (viac než 100 miliónov °C)** a zároveň dostatočný súčin hustoty a času udržania, aby sa horenie udržalo. Vlastným nasledujúcim míľnikom General Fusion je **1 keV** — stále ďaleko od zapálenia.
- Výrok „**väčšina ohrevu pochádza z kompresie**“ je **záver založený na modeli**, nie priamy odpočet. Vychádza z integrovaného fyzikálneho modelu prispôbeného diagnostickým údajom; dôvera v rozdelenie medzi kompresiu, ohmický ohrev a straty závisí od dôvery v tento model.
- Je to **firemný preprint, nie recenzovaná práca**. Výsledky hlási tím, ktorý zariadenie postavil a získal financovanie na základe jeho prísľubu; nezávislé posúdenie zatiaľ neprebehlo.
- Nárast počtu neutrónov **nie je** energeticky významným fúznym výťažkom. Určité neutróny sa za týchto podmienok od deutéria očakávajú, ich množstvo je však hlboko pod čímkoľvek použiteľným na výrobu energie.
- Výsledok nehovorí nič o samostatnom tvrdení spoločnosti, že **budúca elektráreň bude dodávať elektrinu do siete** — nezávislé spravodajstvo k nemu pristupovalo veľmi opatrne.

Aké silné sú dôkazy

- **Hlavné tvrdenie je úzke a overiteľné.** „Stlačili sme magnetizovanú plazmu a tá sa zohriala, najmä vďaka kompresii“ je presne taký test mechanizmu, ktorým musí prístup MTF prejsť. Práca ho podopiera súborom výstrelův s rozsiahlym meracím vybavením a výslovným modelom energetickej bilancie. Ak výsledok obstoí v recenznom konaní, pôjde o skutočné — hoci skoré — overenie tohto prístupu.
- **Výhrady sú podstatné, nie kozmetické.** Jedenásť výstrelův, jedno zariadenie, jeden tím, zatiaľ bez recenzie a hlavná teplota o rád nižšia než pri horiacej plazme. Nosný záver — že *väčšina ohrevu pochádza z kompresie* — stojí na modeli, takže hlavnou otázkou recenzného konania bude odolnosť tohto rozdelenia.
- **Poctivý stav je preukázaný mechanizmus, nie vyhlásený energetický míľnik.** Výsledok posúva MTF od „kompresia by mala plazmu zohrievať“ k „kompresia plazmu zohrieva“ — a nikam ďalej.

Prečo na tom záleží

Na fúzii s magnetizovaným terčom je zaujímavá ekonomika, nie rekordy. Ak mechanické stlačenie dokáže zohriať plazmu smerom k fúznym podmienkam, mohli by sa dosiahnuť bez magnetov v mierke ITER či laserov v mierke NIF — lacnejšou cestou s rýchlejšími iteráciami, *ak* funguje. Toto „ak“ je podstatou celej veci a závisí od nenápadných kontrolných bodov, ako je tento: dodáva kompresia skutočne ohrev sľubovaný modelmi? Odpoveď LM26 na základe prvých výstrelov znie: s výhradami áno. Za pozornosť stojí práve *preto*, že je podmienená — je to priečka na dlhom rebríku, opísaná ľuďmi, ktorí po ňom stúpajú, zatiaľ neoverená nikým iným a ďaleko pod vrcholom.

Stručné zhrnutie

Zariadenie LM26 spoločnosti General Fusion stlačilo magnetizovanú deutériovú plazmu implodujúcou lítiovou vložkou a ukázalo, že sa zohrieva — teplota elektrónov vzrástla viac než trojnásobne na nameranú špičku približne 0,72 keV (718 ± 80 eV, asi 8 miliónov °C) — pričom analýza spoločnosti pripisuje väčšinu ohrevu samotnej kompresii, mechanizmu, na ktorom stojí jej prístup MTF. Pre túto cestu k fúzii je to skutočný, konkrétny technický krok. Zároveň ide o prvých 11 výstrelov jedineho zariadenia, opísaných vo firemnom preprinte bez recenzného konania, pri teplote približne desaťkrát nižšej, než potrebuje horiaca plazma, bez čistej energie, energetickej rovnováhy či elektriny. Preukázaný mechanizmus, nie postavená elektráreň.

Zdroje

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](https://generalfusion.com/post/general-fusion-achieves-compressional-plasma-heating-with-lm26-magnetized-target-fusion-machine)

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>