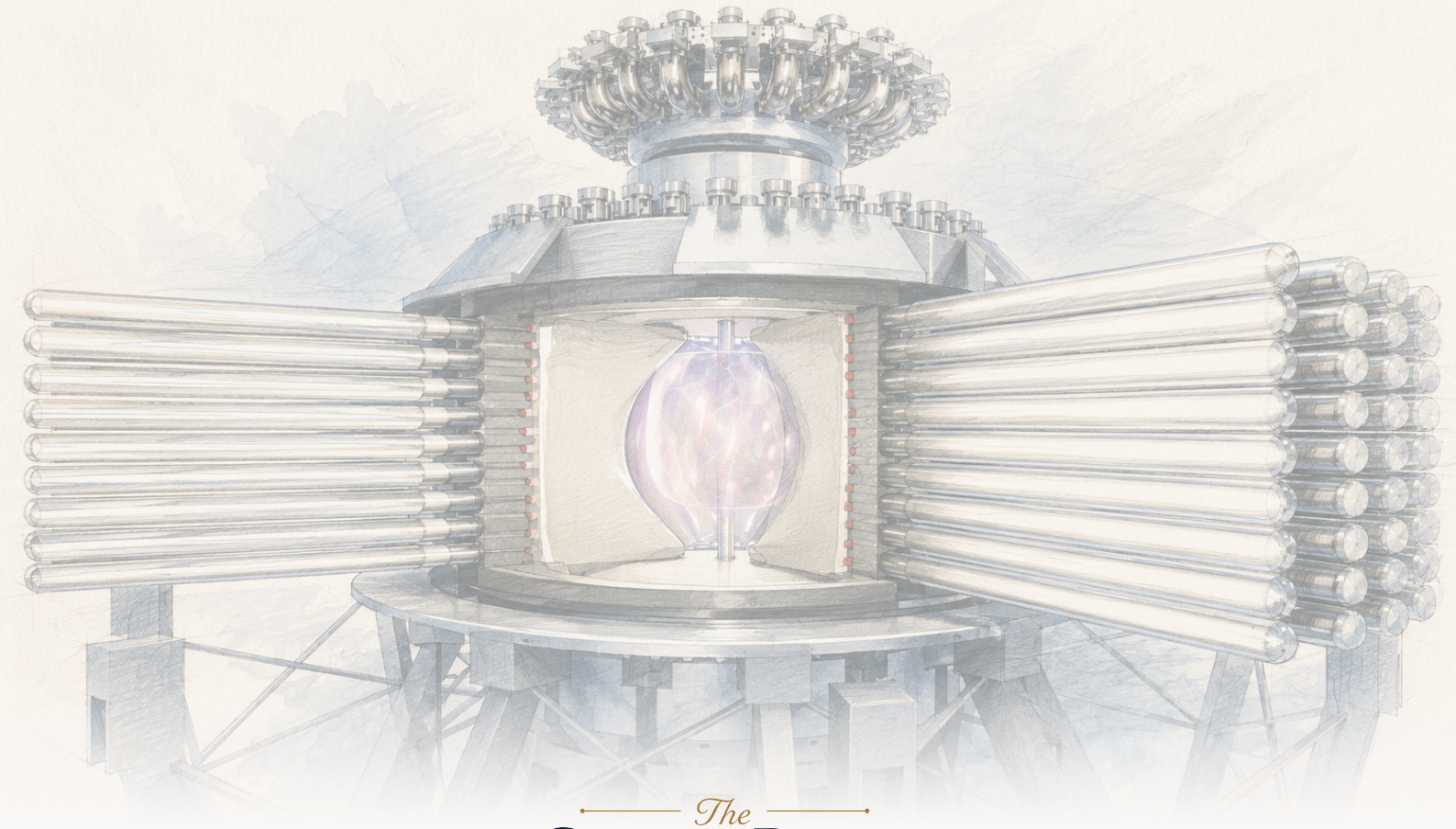


The
CLEAN PAPER

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

Фузиска машина ја загреа плазмата со стискање — вистинскиот чекор и електраната што ова не е

LM26 на General Fusion компресирала магнетизирана деутериумска плазма со имплодирачка литиумска обвивка и ја загреала — температурата на електроните се зголемила повеќе од трипати до измерен врв од околу 0,72 keV (718 ± 80 eV, приближно 8 милиони °C), при што најголем дел од загревањето се припишува на самата компресија, механизмот врз кој се потпира пристапот со магнетизирана мета. Тоа е реална инженерска проверка за овој пат кон фузија. Но се работи за првите 11 истрели на една машина, во нерецензиран препринт на компанијата, на температура сè уште околу десет пати под потребната за горечка плазма — без нето-енергија, без енергетска рамнотежа и без електрична енергија. Покажан механизам, не изградена електрана.

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

Фузиска машина ја загреа плазмата со компресија — вистински чекор, но не и електрана

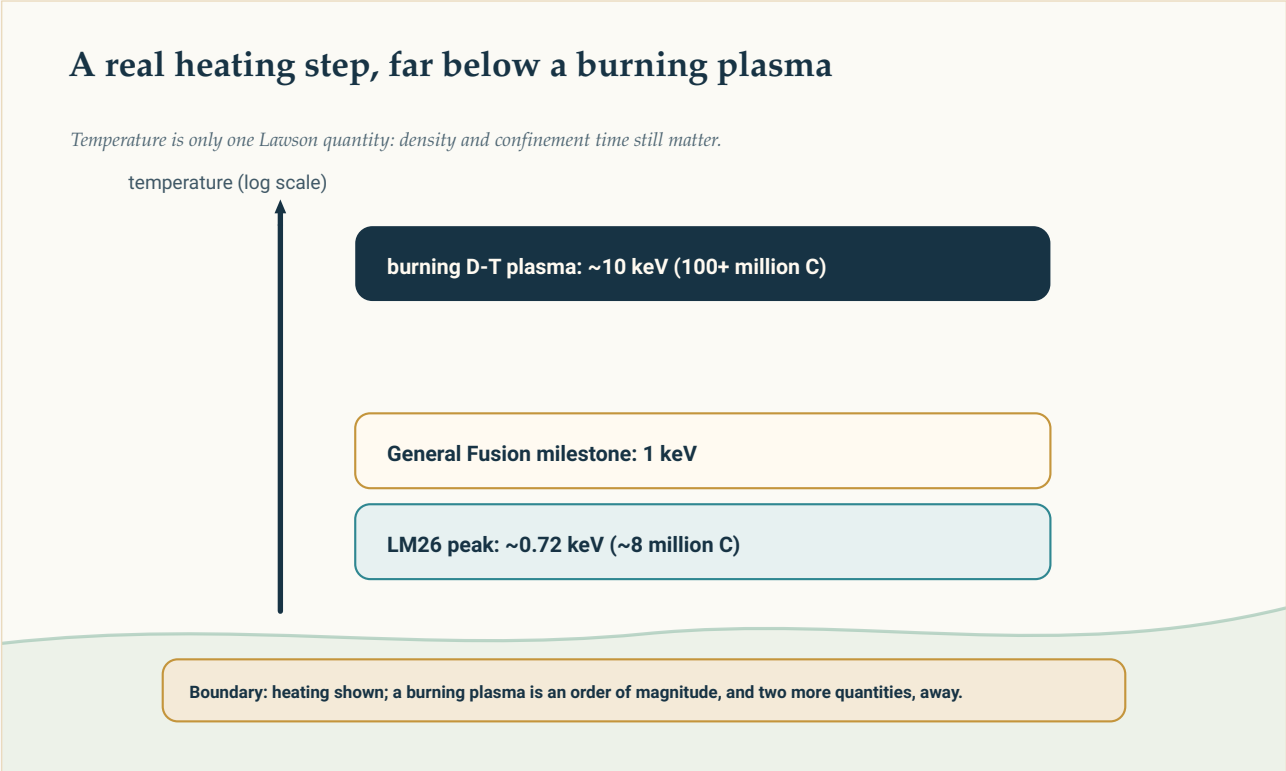
За фузиски реактор да врати повеќе енергија отколку што троши, горивната плазма мора истовремено да биде доволно жешка, доволно густа и доволно долго задржана — трите величини што физичарите ги обединуваат во Лосоновиот критериум. Најголем дел од областа го следи тој услов со огромни суперспроводливи магнети (токамаци како ITER) или со групи гигантски ласери (инерцијално задржување, како во американскиот National Ignition Facility). Помал број компании се обложуваат на трет пат, **фузија со магнетизирана мета** (MTF): да се создаде топла магнетизирана плазма, а потоа брзо механички да се *компресира* така што самото стискање ќе ја загрее — слично на дизел-мотор, каде горивото се пали со компресија, а не со искра.

Во јуни 2026 година канадската компанија **General Fusion** објави резултати од својата **Lawson Machine 26 (LM26)** што ја тестираат токму таа централна претпоставка: дали механичката компресија на магнетизирана плазма навистина ја загрева како што предвидуваат моделите? Во првите 11 компресиски истрели — при кои деутериумска плазма во сферичен токамак била стискана од имплодирачка *цврста литиумска обвивка* — најдобрите истрели покажале дека плазмата станува значително пожешка, погуста и посилно магнетизирана, а анализата на компанијата припишува најголем дел од тоа загревање на самата компресија.

Тоа е реален и конкретен инженерски резултат за пристапот MTF. Но е и прва серија истрели, опишана во **препринт на компанијата што не е рецензиран**, на температура сè уште далеку под онаа што му е потребна на горечка плазма — и не е фузиска енергија, не е енергетска рамнотежа и не е електрана.

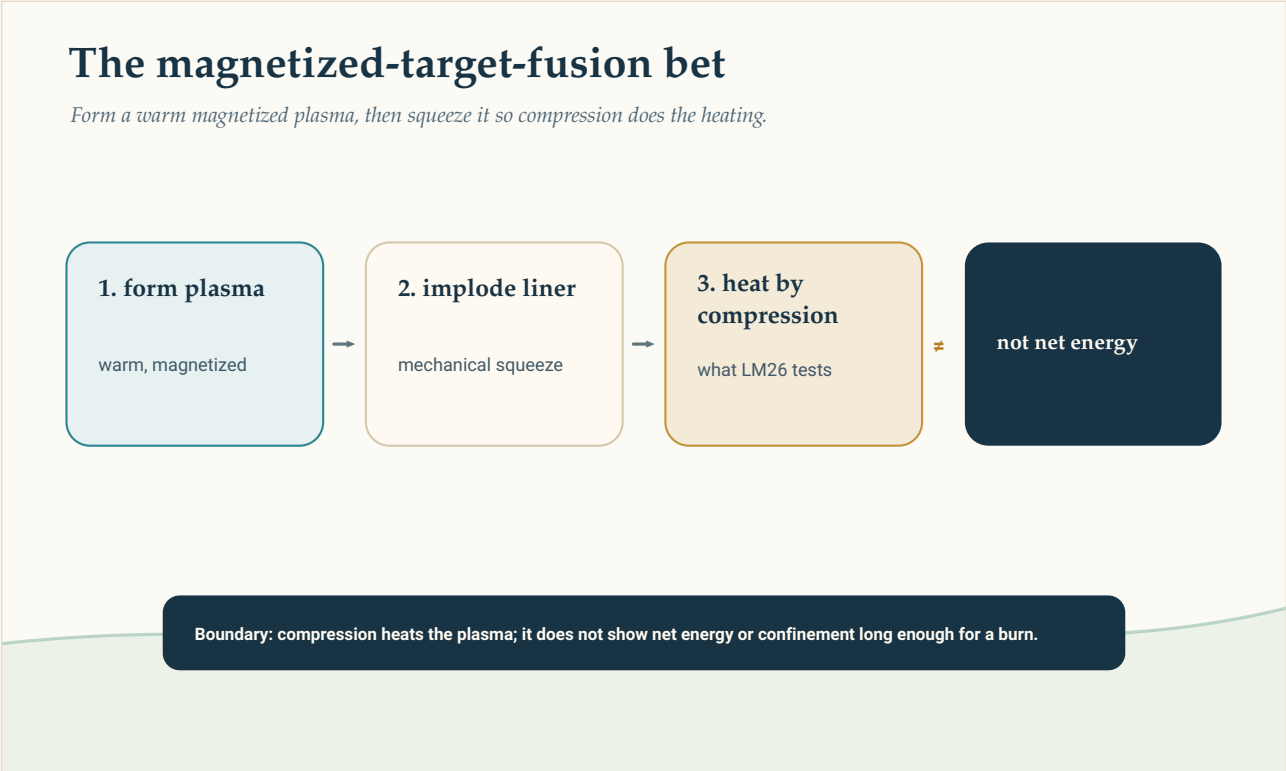
[video pending]

Ова е промотивна снимка од General Fusion, вклучена за да покаже како изгледа LM26; таа не е независен доказ дека машината ќе ги постигне идните фузиски цели.



Температурна скала: околу 0,72 keV кај LM26, целта од 1 keV на General Fusion и околу 10 keV потребни за горечка деутериум–тритиумска плазма. Температурата е само една од трите Лосонови величини.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0



Фузија со магнетизирана мета: создавање топла магнетизирана плазма, па компресија со имплодирачка обвивка така што стискањето ја врши работата на загревање — идејата слична на компресија во

дизел-мотор. LM26 тестираше дали компресијата ја загрева плазмата; не нето-енергија или доволно задржување.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Што значат „фузија со магнетизирана мета“, „keV“ и Лосоновиот критериум

Температурата на плазма во фузиската физика обично се изразува во **килоелектронволти (keV)** наместо во степени: 1 keV е околу **11,6 милиони °C**. Гориво од деутериум и тритиум треба да достигне приближно **10 keV** (над 100 милиони °C) за ефикасна фузија — но температурата е само една од трите величини што мора истовремено да бидат доволни. **Лосоновиот критериум** бара и доволна **густина** и доволно **време на задржување**, често обединети во „троен производ“ (температура × густина × време на задржување). Загревањето е неопходно, но само по себе е далеку од доволно.

Фузијата со магнетизирана мета (MTF) е среден пат меѓу двата главни пристапи. Наместо жешката плазма долго да се задржува со огромни магнети или малечка мета речиси моментално да се загрее со ласери, MTF создава магнетизирана плазма и потоа механички ја компресира во текот на микросекунди. Ако функционира, компресијата истовремено ја загрева плазмата и ја зголемува густината — потенцијално достигнувајќи услови за фузија без магнети од размерот на ITER или ласери од размерот на NIF. Дали компресијата навистина го дава тоа загревање во реална машина е токму прашањето што тест како LM26 треба да го одговори.

Што направиле авторите

- Ја изградиле и пуштиле **LM26**, машина за фузија со магнетизирана мета на General Fusion: се создава деутериумска плазма во сферичен токамак, а потоа се компресира со имплодирачка **цврста литиумска обвивка** што се движи навнатре — приближно **3× радијална компресија**.
- Ги извршиле **првите 11 компресиски истрели** со многу инструментација, реконструирајќи ја температурата, густината и магнетното поле на плазмата низ времето и снимајќи емитирани неутрони, рендгенски зраци и видлива светлина, како и брзи снимки од интеракцијата плазма–ѕид.
- Изградиле **интегриран физички модел** што го балансира загревањето од компресија со Омовото загревање (од сопствената струја на плазмата) и енергијата изгубена на границата, а потоа го споредиле моделот со измерените податоци за да проценат од каде навистина дошло загревањето.

Што откриле

- **Плазмата се загревала додека се стискала.** Во најдобрите истрели температурата на електроните пораснала за **повеќе од 3**×, електронската густина за околу **10**×, а полоидалното магнетно поле за околу **10**×, поттикнати од 3× радијалната компресија. Во најдобриот истрел трудот мери **врвна електронска температура од околу 0,72 keV** (718 ± 80 eV, со Томсоново расејување) — приближно 8 милиони °C.
- **Најголем дел од загревањето се припишува на компресијата.** Интегрираниот модел заклучува дека *мнозинството* од порастот на температурата дошло од самата механичка компресија — механизмот врз кој почива целиот MTF-пристап — а не од Омовото загревање.
- **Емисијата на неутрони се зголемила за време на компресијата**, што е согласност со пожешка и погуста деутериумска плазма.

Што ова не покажува

- Ова **не** е фузиска енергија, енергетска рамнотежа или нето-добивка. Ништо тука не произвело повеќе енергија отколку што било потребно за работата на машината. Резултатот се однесува на *загревање плазма* — еден чекор во фузискиот циклус — не на енергетскиот биланс на реактор.
- Температурата е **сè уште околу десет пати прениска** за горечка плазма. Околу 0,72 keV се приближно 8 милиони °C; гориво од деутериум–тритиум бара од редот на **10 keV (над 100 милиони °C)** *и* доволно густина × време на задржување за да се одржи горење. Следната сопствена цел на General Fusion е **1 keV** — и таа е далеку од палење.
- „**Најголем дел од загревањето е од компресијата**“ е **заклучок од модел**, не директно отчитување. Потекнува од интегриран физички модел усогласен со дијагностиката; колку му верувате на разделувањето меѓу компресија, Омово загревање и загуби зависи од тоа колку му верувате на моделот.
- Ова е **препринт на компанијата, не рецензиран труд.** Резултатите ги пријавува тимот што ја изградил машината и собирал капитал врз нејзиното ветување; независна рецензија сè уште нема.
- Зголемувањето на неутроните **не** е фузиски принос релевантен за производство на енергија. При овие услови се очекуваат некои неутрони од деутериум, но бројот е далеку од нешто практично за електрична енергија.
- Резултатот не кажува ништо за одделната изјава на компанијата дека **идна електрана би испорачувала струја во мрежата** — тврдење што независното известување го третира со голема претпазливост.

Колку се убедливи доказите?

- **Основното тврдење е тесно и проверливо.** „Компресиравме магнетизирана плазма и таа се загреа, главно поради компресијата“ е токму механистичкиот тест што MTF мора да го помине, а препринтот го поткрепува со богато инструментирана серија истрели и експлицитен модел на енергетска рамнотежа. Ако ја помине рецензијата, тоа е вистинска — иако рана — потврда на пристапот.
- **Ограничувањата се суштински, не козметички.** Единаесет истрели, една машина, еден тим, сè уште нерецензирано, а главната температура е цел ред пониска од горечка плазма. Клучниот заклучок — *мнозинството загревање е од компресијата* — зависи од модел, па централното рецензентско прашање е дали тоа раздвојување е робустно.
- **Најчесниот статус е покажан механизам, не достигната енергетска пресвртница.** Резултатот го поместува MTF од „компресијата *треба* да ја загрева плазмата“ кон „компресијата *ја загрева* плазмата“, и ништо поголемо од тоа.

Зошто е важно

Интересниот дел од фузијата со магнетизирана мета е економијата, не рекордите. Ако механичката компресија може да ја загрее плазмата кон фузиски услови, можеби ќе може да се стигне таму без магнети од размерот на ITER или ласери од размерот на NIF — потенцијално поевтин пат со побрзи циклуси на инженерско подобрување, *ако* работи. Тоа „ако“ е целата игра и зависи од негламурозни проверки како оваа: дали компресијата навистина го дава загревањето што го ветуваат моделите? Одговорот на LM26 во првите истрели е условно да. Вреди да се забележи токму *затоа што* е условен — едно скалило на долгата скала, пријавено од луѓето што се качуваат по неа, сè уште непроверено од независни рецензенти и многу далеку од врвот.

Кратко резиме

LM26 на General Fusion компресирала магнетизирана деутериумска плазма со имплодирачка литиумска обвивка и покажала дека плазмата се загрева — температурата на електроните се зголемила повеќе од трипати до измерен врв од околу 0,72 keV (718 ± 80 eV, ~8 милиони °C) — а анализата на компанијата му припишува најголем дел од загревањето на самиот механички притисок, механизмот врз кој почива нивниот пристап MTF. Тоа е реален, конкретен инженерски чекор за овој пат кон фузија. Но се работи за првите 11 истрели на една машина, опишани во нерецензиран препринт на компанијата, на температура околу десет пати пониска од потребната за горечка плазма, без нето-енергија, без енергетска рамнотежа и без електрична енергија. Покажан механизам, не изградена електрана.

Извори

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