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

Термоядрена машина нагря плазмата си чрез свиване — реалната стъпка и електроцентралата, която това не е

LM26 на General Fusion компресира магнетизирана деутериева плазма с имплодираща литиева обвивка и наблюдава как тя се нагрява — електронната температура се увеличава повече от три пъти до измерен пик около 0,72 keV (718 ± 80 eV, приблизително 8 милиона °C), като според анализа по-голямата част от нагряването идва от самата компресия — механизма, от който зависи подходът с магнетизиран термоядрен таргет. Това е реален инженерен контролен етап за този път към синтеза. Но това са и първите 11 импулса на една машина, описани в нерецензиран фирмен препринт, при температура все още около десет пъти под необходимата за горяща плазма — без нетна енергия, без breakeven и без електричество. Показан механизъм, не построена електроцентрала.

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

Термоядрена машина нагря плазмата си чрез свиване — реалната стъпка и електроцентралата, която това не е

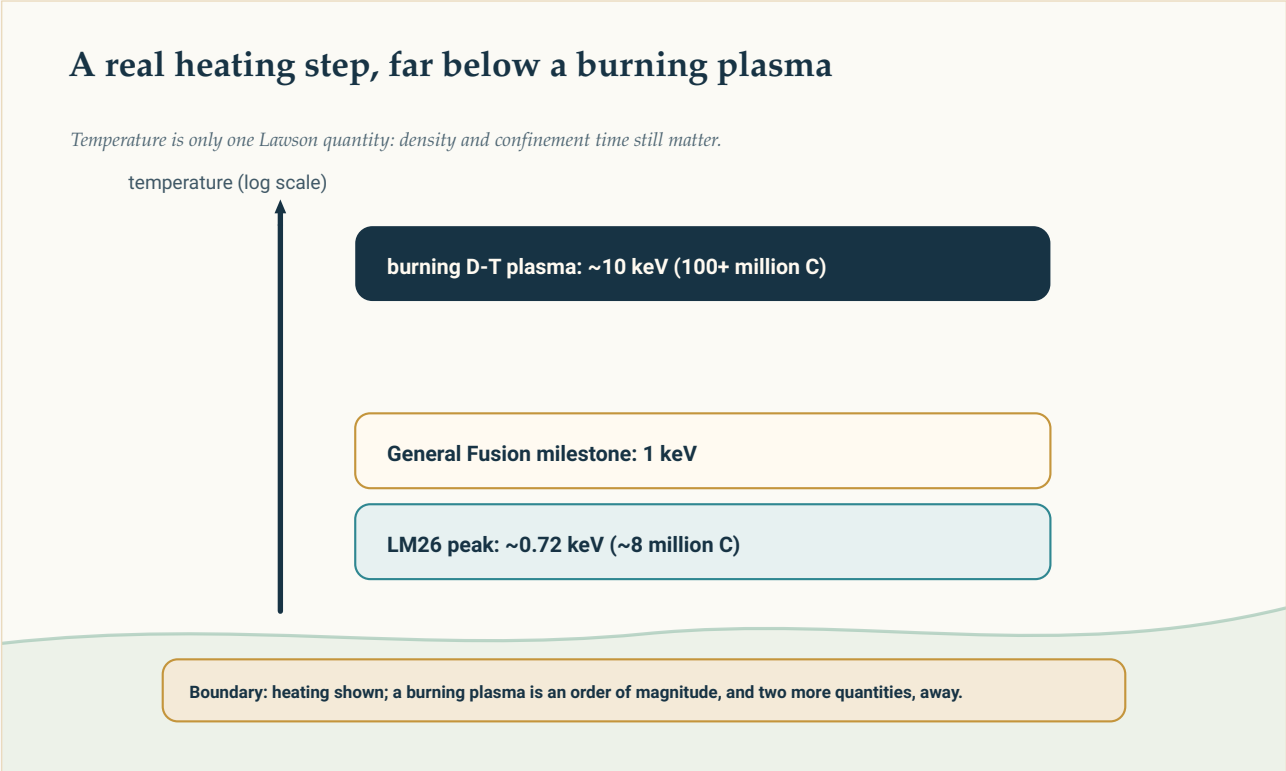
За да може един термоядрен реактор да върне повече енергия, отколкото е нужна за работата му, горивната плазма трябва едновременно да е достатъчно гореща, достатъчно плътна и да остане задържана достатъчно дълго — трите величини, събрани в това, което физиците наричат критерий на Лоусън. По-голямата част от областта преследва това с огромни свръхпроводящи магнити (токамаци като ITER) или масиви от гигантски лазери (инерционно задържане, както в американския National Ignition Facility). По-малка група компании залагат на трети път — **термоядрен синтез с магнетизирана мишена** (magnetized target fusion, MTF): създайте топла магнетизирана плазма, после бързо я *смачкайте* механично, така че самото свиване да я нагрее — както дизеловият двигател запалва горивото чрез компресия, а не чрез искра.

През юни 2026 г. канадската компания **General Fusion** публикува резултати от своята **Lawson Machine 26 (LM26)**, които проверяват дали този основен залог действително работи: механичната компресия на магнетизирана плазма наистина ли я нагрява така, както обещават моделите? При първите 11 компресионни импулса — в които деутериева плазма от сферичен токамак е свита от имплодираща *твърда литиева обвивка* — най-добрите импулси показват, че при компресията плазмата става значително по-гореща, по-плътна и по-силно магнетизирана, а анализът на компанията приписва по-голямата част от това нагряване на самата компресия.

Това е реален и конкретен инженерен резултат за подхода MTF. Но е и първа серия импулси, описана в **фирмен препринт, който не е рецензиран**, при температура все още далеч под нужната за горяща плазма — и не е термоядрена енергия, не е достигане на енергиен баланс (breakeven) и не е електроцентрала.

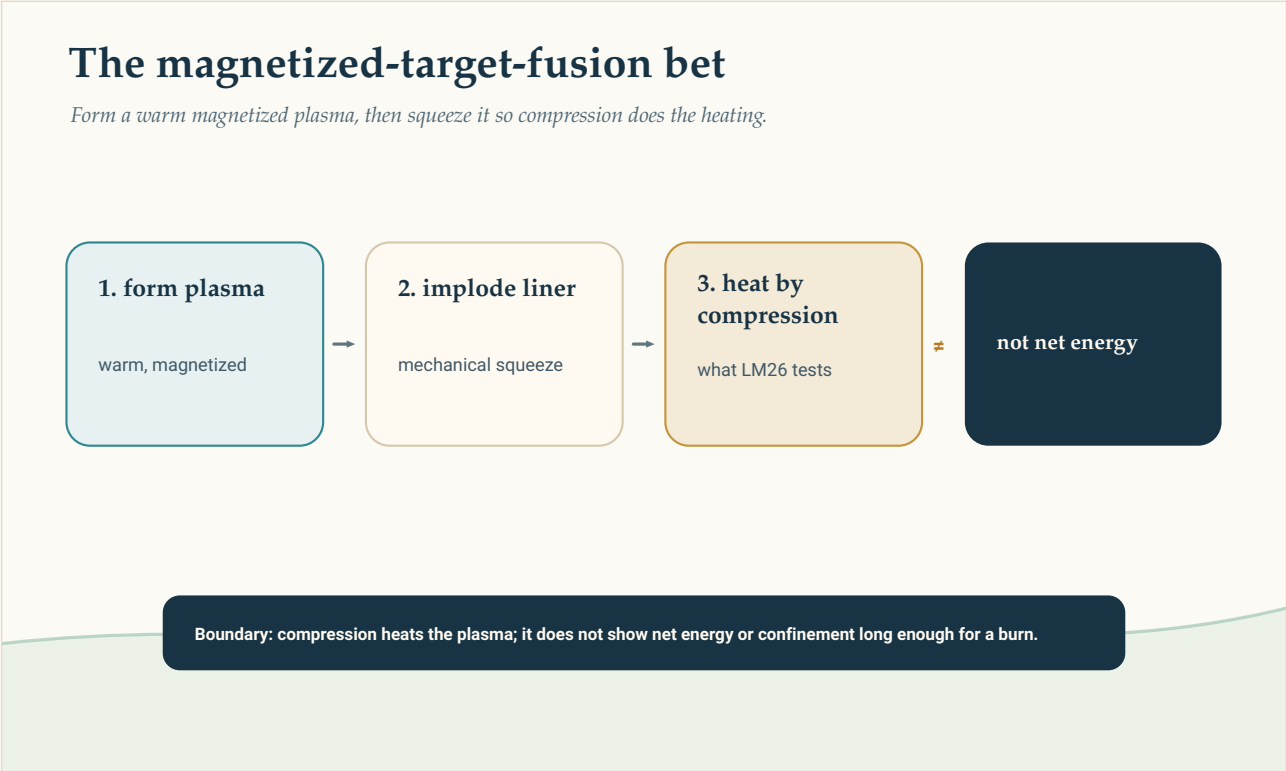
[video pending]

Това е промоционален видеоматериал на General Fusion, включен, за да покаже как изглежда LM26; той не е независимо доказателство, че машината ще постигне бъдещите си термоядрени цели.



Температурна стълбица: ~0,72 keV на LM26, целта от 1 keV на General Fusion и ~10 keV, необходими на горяща деутерий–тритиева плазма. Температурата е само една от трите величини в критерия на Лоусън.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0



Термоядрен синтез с магнетизиран таргет: създава се топла магнетизирана плазма, след което се компресира с имплодираща обвивка, така че свиването да я нагрее — залогът на „дизеловата

компресия“. LM26 проверява дали компресията нагрява плазмата; не дали има нетна енергия или достатъчно задържане.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Какво означават „термоядрен синтез с магнетизиран таргет“, „keV“ и критерият на Лоусън

Температурата на плазмата при термоядрен синтез обикновено се изразява в **килоелектронволти (keV)**, а не в градуси: 1 keV е около **11,6 милиона °C**. Деутерий–тритиевото гориво трябва да достигне приблизително **10 keV** (над 100 милиона °C), за да се слива ефективно — но температурата е само едно от трите условия, които трябва да са изпълнени едновременно. **Критерият на Лоусън** казва, че реакторът се нуждае и от достатъчна **плътност**, и от достатъчно **време на задържане**, често комбинирани в един „троен продукт“ (температура × плътност × време на задържане). Нагряването на плазмата е необходимо, но само по себе си далеч не е достатъчно.
Термоядреният синтез с магнетизиран таргет (MTF) е междинен път между двата основни подхода. Вместо гореща плазма да се задържа дълго с огромни магнити или миниатюрен таргет да се нагрее почти мигновено с лазери, MTF създава магнетизирана плазма и след това я компресира механично за микросекунди. Ако работи, компресията едновременно нагрява плазмата и увеличава плътността ѝ — потенциално достигайки условия за синтез без магнити с мащаба на ITER или лазери с мащаба на NIF. Дали компресията наистина осигурява това нагряване в реална машина е точно въпросът, за който служи тест като LM26.

Какво са направили авторите

- Построяват и пускат **LM26**, машина за термоядрен синтез с магнетизиран таргет на General Fusion: създава се деутериева плазма в сферичен токамак, след което тя се компресира от имплодираща **твърда литиева обвивка**, задвижвана навътре — приблизително **3× радиална компресия**.
- Провеждат **първите 11 компресионни импулса** и ги оборудват с много диагностични средства, реконструирайки температурата, плътността и магнитното поле на плазмата във времето и регистрирайки излъчени неутрони, рентгеново и видимо излъчване, плюс изображения с бърза камера на взаимодействието плазма–стена.
- Изграждат **интегриран физичен модел**, който балансира нагряването от компресията спрямо омичното нагряване (от собствения ток на плазмата) и енергията, изгубена към границата, след което го сравняват с измерените данни, за да определят откъде действително идва нагряването.

Какво са установили

- **Плазмата се нагрява при свиването.** В най-добрите импулси електронната температура нараства **повече от 3**×, електронната плътност — около **10**×, а полоидалното магнитно поле — около **10**×, задвижвани от 3× радиалната компресия. При най-добрия импулс статията измерва **пикова електронна температура около 0,72 keV** (718 ± 80 eV чрез Thomson scattering) — приблизително 8 милиона °C.
- **По-голямата част от нагряването се приписва на компресията.** Интегрираният им модел заключава, че *мнозинството* от покачването на температурата идва от самата механична компресия — механизма, от който зависи целият подход MTF — а не от омично нагряване.
- **Неутронното излъчване нараства по време на компресията**, което е съвместимо с по-гореща и по-плътна деутериева плазма.

Какво не показва това

- Това **не** е термоядрена енергия, достигане на енергиен баланс (breakeven) или нетна печалба. Нищо тук не произвежда повече енергия, отколкото е нужна за работата му. Резултатът е за *нагряване на плазма* — една стъпка в термоядрения цикъл — не за енергийния баланс на реактор.
- Температурата е **все още около десет пъти по-ниска** от тази на горяща плазма. Около 0,72 keV са приблизително 8 милиона °C; деутерий–тритиевото гориво се нуждае от порядъка на **10 keV (над 100 милиона °C)** *и* достатъчен продукт плътност × време на задържане, за да поддържа горене. Следващата собствена цел на General Fusion е **1 keV** — също далеч от запалването.
- „**По-голямата част от нагряването е от компресията**“ е **заключение, основано на модел**, а не пряко показание на уред. То идва от интегриран физичен модел, съгласуван с диагностиката; доколко вярвате на разделянето между компресионно нагряване, омично нагряване и загуби зависи от това доколко вярвате на модела.
- Това е **фирмен препринт, не рецензирана статия.** Резултатите са съобщени от екипа, който е построил машината и е набирал средства въз основа на обещанията ѝ; независимата рецензия още не е проведена.
- Увеличението на неутроните **не** е термоядрен добив със значение за енергетиката. При тези условия се очакват някои неутрони от деутерий, но количеството е далеч под всичко полезно за производство на енергия.
- Това не казва нищо за отделното твърдение на компанията, че **бъдеща централа би подавала електричество към мрежата** — твърдение, към което независимите публикации подхождат с голяма предпазливост.

Колко силни са доказателствата

- **Основното твърдение е тясно и проверимо.** „Компресирахме магнетизирана плазма и тя стана по-гореща, основно заради компресията“ е точно тестът на механизма, който подходът MTF трябва да премине, а статията го подкрепя с гъсто диагностицирана серия импулси и явен модел на енергийния баланс. Ако издържи рецензията, това е реално — макар и ранно — потвърждение на подхода.
- **Уговорките са структурни, не козметични.** Единадесет импулса, една машина, един екип, все още без рецензия и водеща температура с цял порядък под тази на горяща плазма. Носещото заключение — *по-голямата част от нагряването идва от компресията* — се опира на модел, така че централният въпрос за рецензентите е дали това разделяне в модела е устойчиво.
- **Честният статус е демонстриран механизъм, не заявен енергиен етап.** Резултатът премества MTF от „компресията *би трябвало* да нагрява плазмата“ към „компресията *нагрява* плазмата“ — и не повече от това.

Защо е важно

Интересното при термоядрения синтез с магнетизиран таргет е икономиката, не рекордите. Ако механичната компресия може да нагрее плазма към условия за синтез, може би това може да се постигне без магнити с мащаба на ITER или лазери с мащаба на NIF — по-евтин път с по-бързи итерации, *ако* работи. Това „ако“ е цялата игра и зависи от негламурни контролни точки като тази: компресията действително ли осигурява нагряването, което обещават моделите? Отговорът на LM26 при първите му импулси е условно „да“. Това си струва да бъде отбелязано точно *защото* е условно — едно стъпало по дълга стълба, докладвано от хората, които я изкачват, все още непроверено от други и далеч под върха.

Кратко обобщение

LM26 на General Fusion компресира магнетизирана деутериева плазма с имплодираща литиева обвивка и показва, че тя се нагрява — електронната ѝ температура се увеличава повече от три пъти до измерен пик около 0,72 keV (718 ± 80 eV, ~8 милиона °C) — като анализът на компанията приписва по-голямата част от нагряването на самата компресия, механизма, на който разчита подходът ѝ с магнетизирана мишена. Това е реална и конкретна инженерна стъпка за този път към термоядрения синтез. Но това са и първите 11 импулса на една машина, описани във фирмен препринт без рецензия, при температура около десет пъти под необходимата за горяща плазма, без нетна енергия, без достигане на енергиен баланс (breakeven) и без електричество. Показан механизъм, не построена електроцентрала.

Източници

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