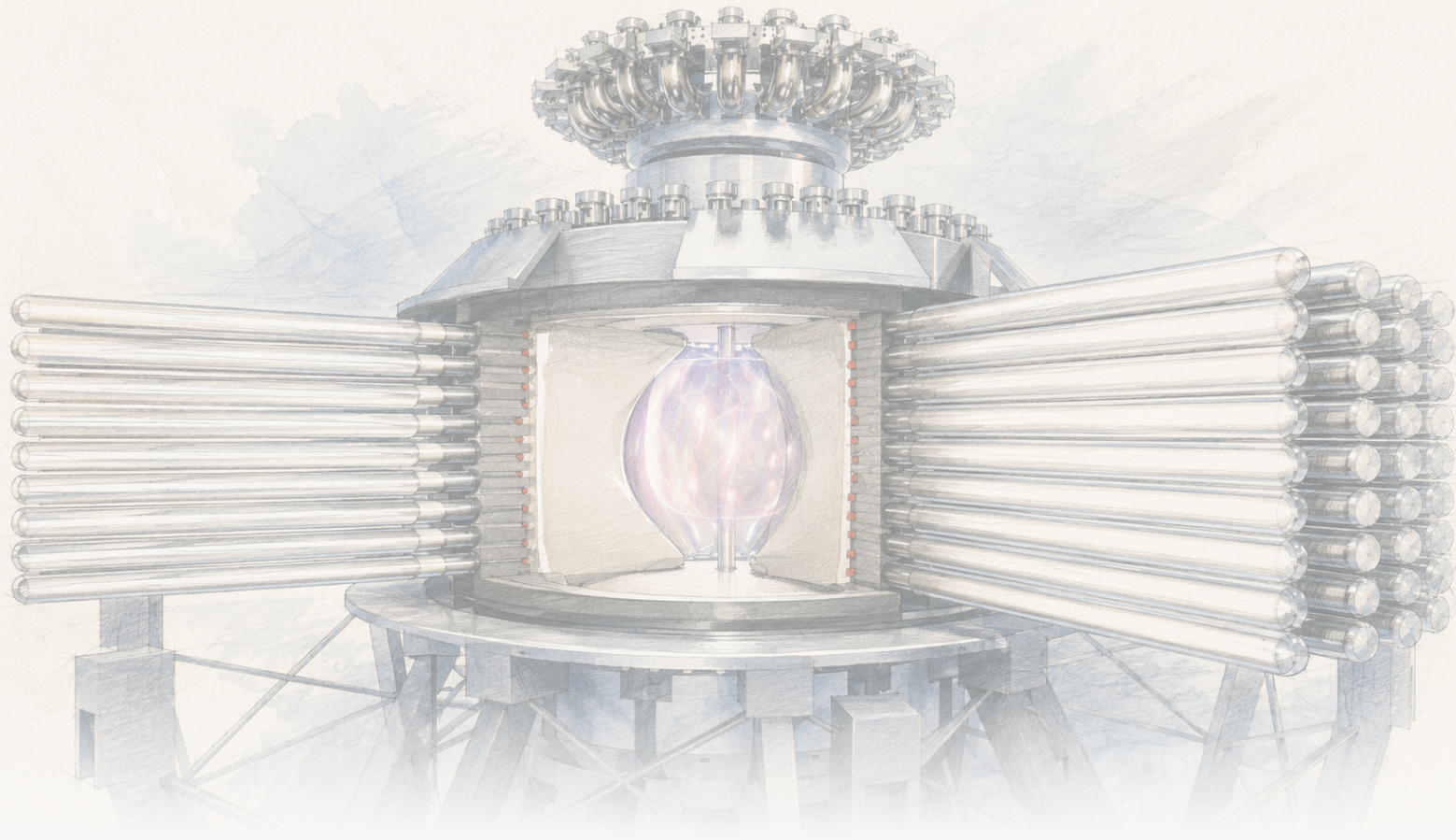




The CLEAN PAPER

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

Uma máquina de fusão aqueceu o plasma comprimindo-o — o passo real, e a usina que ela não é

A LM26 da General Fusion comprimiu um plasma de deutério magnetizado com um revestimento de lítio em implosão e viu o plasma aquecer — mais que triplicando a temperatura eletrônica até um pico medido de cerca de 0,72 keV (718 ± 80 eV, aproximadamente 8 milhões °C), com a maior parte do aquecimento atribuída à própria compressão, o mecanismo do qual depende a fusão por alvo magnetizado. É um ponto de checagem real de engenharia para essa rota à fusão. Também são os primeiros 11 disparos em uma máquina, descritos em um preprint da empresa que ainda não passou por revisão por pares, a uma temperatura cerca de dez vezes abaixo do que um plasma em combustão precisa — sem energia líquida, sem breakeven e sem eletricidade. Um mecanismo mostrado, não uma usina construída.

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

Uma máquina de fusão aqueceu o plasma comprimindo-o — o passo real, e a usina que ela não é

Para que um reator de fusão devolva mais energia do que consome para funcionar, o plasma de combustível precisa ser, ao mesmo tempo, quente o bastante, denso o bastante e mantido junto por tempo suficiente — as três quantidades reunidas no que físicos chamam de critério de Lawson. A maior parte da área persegue isso com enormes ímãs supercondutores (tokamaks como o ITER) ou com conjuntos de lasers gigantes (confinamento inercial, como no National Ignition Facility dos EUA). Um grupo menor de empresas aposta numa terceira rota, a **fusão por alvo magnetizado** (MTF): formar um plasma morno e magnetizado e então *esmagá-lo* mecanicamente, rápido, de modo que a compressão faça o aquecimento — como um motor a diesel acende o combustível por compressão, não por faísca.

Em junho de 2026, a empresa canadense **General Fusion** publicou resultados da sua **Lawson Machine 26 (LM26)** que testam se essa aposta central se sustenta: comprimir mecanicamente um plasma magnetizado realmente o aquece como os modelos prometem? Nos primeiros 11 disparos de compressão — nos quais um plasma de deutério em tokamak esférico foi comprimido por um *revestimento sólido de lítio* em implosão — os melhores disparos mostraram o plasma ficando claramente mais quente, mais denso e mais magnetizado à medida que era comprimido, e a análise da empresa atribui a maior parte desse aquecimento à própria compressão.

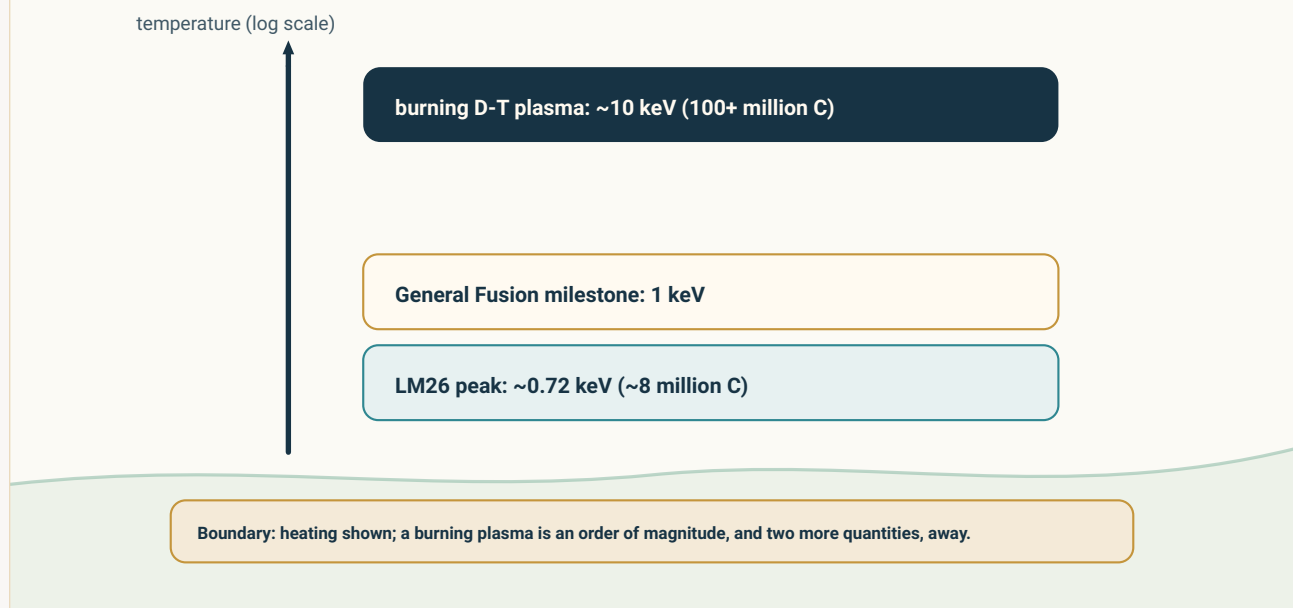
Esse é um resultado real e específico de engenharia para a abordagem MTF. Também é uma primeira série de disparos, descrita em um **preprint da empresa que ainda não foi revisado por pares**, a uma temperatura ainda muito abaixo do que um plasma em combustão precisa — e não é energia de fusão, não é breakeven e não é uma usina.

[video pending]

Este é um vídeo promocional da General Fusion, incluído para mostrar como é a LM26; não é evidência independente de que a máquina cumprirá seus marcos futuros de fusão.

A real heating step, far below a burning plasma

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

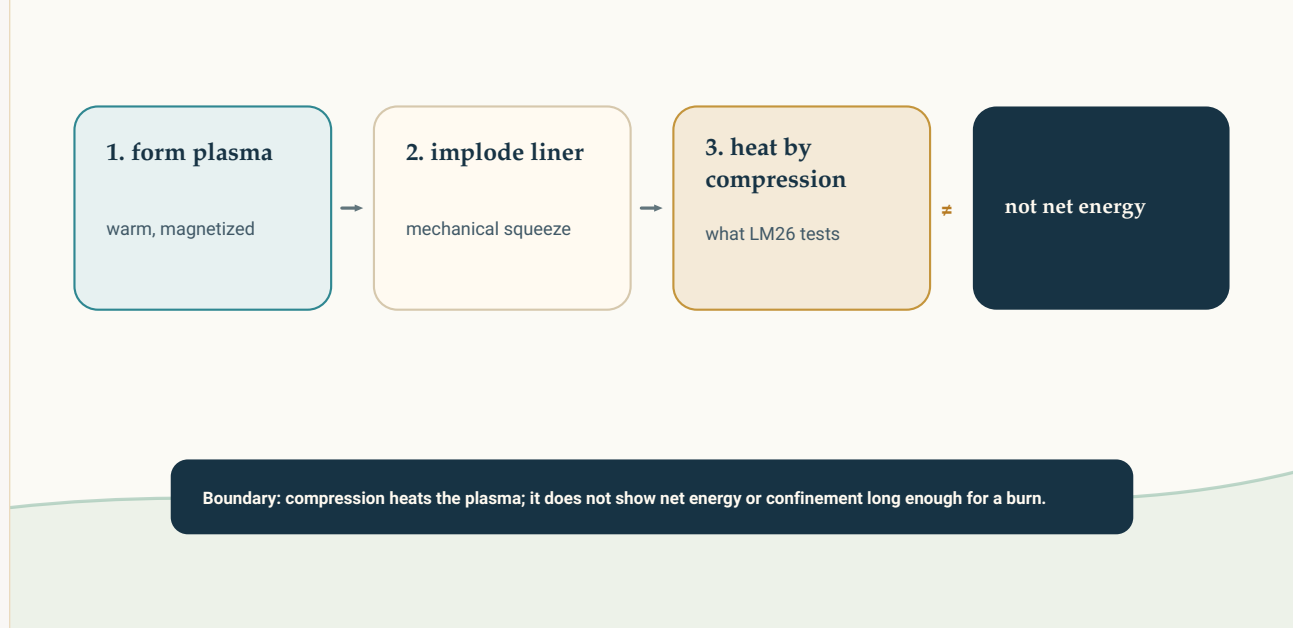


Uma escada de temperatura: os ~0,72 keV da LM26, a meta de 1 keV da General Fusion e os ~10 keV de que um plasma de deutério-trítio em combustão precisa. Temperatura é só uma das três quantidades de Lawson.

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.



Fusão por alvo magnetizado: formar um plasma morno e magnetizado, depois comprimi-lo com um revestimento em implosão para que a compressão faça o aquecimento — a aposta da compressão tipo diesel.

A LM26 testou se a compressão aquece o plasma; não energia líquida nem confinamento.

Original diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

O que significam “fusão por alvo magnetizado”, “keV” e o critério de Lawson

Na fusão, a temperatura do plasma costuma ser dada em **quiloelectronvolts (keV)**, não em graus: 1 keV equivale a cerca de **11,6 milhões °C**. Um combustível de deutério-trítio precisa chegar a aproximadamente **10 keV** (mais de 100 milhões °C) para fundir com eficiência — mas temperatura é só uma das três coisas que precisam ser satisfeitas ao mesmo tempo. O **critério de Lawson** diz que um reator também precisa de **densidade** suficiente e **tempo de confinamento** suficiente, geralmente combinados num “produto triplo” (temperatura $\times$ densidade $\times$ tempo de confinamento). Aquecer o plasma é necessário, mas sozinho está longe de ser suficiente.

Fusão por alvo magnetizado (MTF) é um caminho intermediário entre as duas abordagens principais. Em vez de confinar um plasma quente por muito tempo com ímãs enormes, ou aquecer um alvo minúsculo quase instantaneamente com lasers, a MTF forma um plasma magnetizado e então o comprime mecanicamente por microssegundos. Se funcionar, a compressão aquece o plasma e aumenta sua densidade — potencialmente chegando a condições de fusão sem ímãs do tamanho do ITER ou lasers do tamanho do NIF. Se a compressão realmente entrega esse aquecimento, numa máquina real, é exatamente o que um teste como a LM26 deve responder.

O que os autores fizeram

- Construíram e dispararam a **LM26**, uma máquina de fusão por alvo magnetizado da General Fusion: um plasma de deutério em tokamak esférico é formado e depois comprimido por um **revestimento sólido de lítio** em implosão — cerca de **3 $\times$ de compressão radial**.
- Rodaram os **primeiros 11 disparos de compressão** e os instrumentaram intensamente, reconstruindo temperatura, densidade e campo magnético do plasma ao longo do tempo e registrando nêutrons, raios X e luz visível emitidos, além de imagens de câmera rápida da interação plasma-parede.
- Construíram um **modelo físico integrado** que equilibra o aquecimento por compressão com o aquecimento ôhmico (da própria corrente do plasma) e a energia perdida para a fronteira, depois o compararam aos dados medidos para estimar de onde o aquecimento veio.

O que eles encontraram

- **O plasma aqueceu ao ser comprimido.** Nos melhores disparos, a temperatura eletrônica subiu **mais de 3 $\times$** , a densidade eletrônica cerca de **10 $\times$** e o campo magnético poloidal cerca de **10 $\times$** , impulsionados pela compressão radial de 3 $\times$. No melhor disparo, o artigo mede uma **temperatura**

eletrônica de pico de cerca de 0,72 keV (718 ± 80 eV, por espalhamento Thomson) — aproximadamente 8 milhões °C.

- **A maior parte do aquecimento é atribuída à compressão.** O modelo integrado conclui que a *maioria* do aumento de temperatura veio da própria compressão mecânica — o mecanismo de que toda a abordagem MTF depende — e não do aquecimento ôhmico.
- **A emissão de nêutrons aumentou durante a compressão**, consistente com um plasma de deutério mais quente e mais denso.

O que isso não mostra

- **Não** é energia de fusão, breakeven ou ganho líquido. Nada aqui produziu mais energia do que consumiu. O resultado é sobre *aquecer um plasma* — uma etapa do ciclo de fusão — não sobre o balanço energético de um reator.
- A temperatura ainda está **cerca de dez vezes abaixo** da de um plasma em combustão. Cerca de 0,72 keV são aproximadamente 8 milhões °C; combustível de deutério-trítio precisa da ordem de **10 keV (mais de 100 milhões °C)** e densidade $\times$ tempo de confinamento suficientes para sustentar a combustão. A própria próxima meta da General Fusion é **1 keV** — ainda longe da ignição.
- **“A maior parte do aquecimento vem da compressão”** é uma **conclusão baseada em modelo**, não uma leitura direta. Ela vem de um modelo físico integrado ajustado aos diagnósticos; a confiança na divisão entre compressão, aquecimento ôhmico e perdas depende da confiança nesse modelo.
- É um **preprint da empresa, não revisado por pares**. Os resultados são autorrelatados pela equipe que construiu a máquina e levantou dinheiro com sua promessa; a revisão independente ainda não aconteceu.
- O aumento de nêutrons **não** é um rendimento de fusão relevante para energia. Alguns nêutrons são esperados do deutério nessas condições, muito abaixo de qualquer coisa útil para potência.
- Isso não diz nada sobre a declaração separada da empresa de que uma **usina futura entregaria eletricidade à rede** — uma afirmação que reportagens independentes trataram com muita cautela.

Quão sólidas são as evidências?

- **A afirmação central é estreita e verificável.** “Comprimimos um plasma magnetizado e ele ficou mais quente, principalmente por causa da compressão” é exatamente o teste de mecanismo que a abordagem MTF precisa passar, e o artigo o apoia com uma série de disparos muito instrumentada e um modelo explícito de balanço de energia. Se sobreviver à revisão por pares, é uma validação genuína — embora inicial — da abordagem.
- **Os caveats são estruturais, não cosméticos.** Onze disparos, uma máquina, uma equipe, ainda sem revisão, e uma temperatura de destaque uma ordem de grandeza abaixo da de um plasma em combustão. A conclusão que carrega peso — *maioria do aquecimento por compressão* — repousa num modelo; a pergunta central da revisão é se essa divisão é robusta.
- **O status honesto é mecanismo demonstrado, não marco energético reivindicado.** Ele empurra

a MTF de “a compressão *deveria* aquecer o plasma” para “a compressão *aquece* o plasma”, e nada maior que isso.

Por que importa

O interessante na fusão por alvo magnetizado é econômico, não recordista. Se a compressão mecânica puder aquecer um plasma rumo às condições de fusão, talvez seja possível chegar lá sem ímãs do tamanho do ITER ou lasers do tamanho do NIF — um caminho mais barato e de iteração mais rápida, *se* funcionar. Esse “se” é o jogo inteiro, e depende de pontos de checagem pouco glamourosos como este: a compressão realmente entrega o aquecimento que os modelos prometem? A resposta da LM26, nos primeiros disparos, é um sim qualificado. Vale notar precisamente *porque* é qualificado — um degrau numa longa escada, relatado pelas pessoas que a estão subindo, ainda não conferido por ninguém de fora e muito abaixo do topo.

Em resumo

A LM26 da General Fusion comprimiu um plasma de deutério magnetizado com um revestimento de lítio em implosão e mostrou que ele aqueceu — mais que triplicando a temperatura eletrônica até um pico medido de cerca de 0,72 keV (718 ± 80 eV, ~ 8 milhões °C) — com a análise da empresa atribuindo a maior parte do aquecimento à própria compressão, o mecanismo em que sua abordagem de fusão por alvo magnetizado se apoia. Esse é um passo real e específico de engenharia para essa rota à fusão. Também são os primeiros 11 disparos em uma máquina, descritos em um preprint da empresa ainda não revisado por pares, a uma temperatura cerca de dez vezes abaixo do que um plasma em combustão precisa, sem energia líquida, sem breakeven e sem eletricidade. Um mecanismo mostrado, não uma usina construída.

Fontes

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>