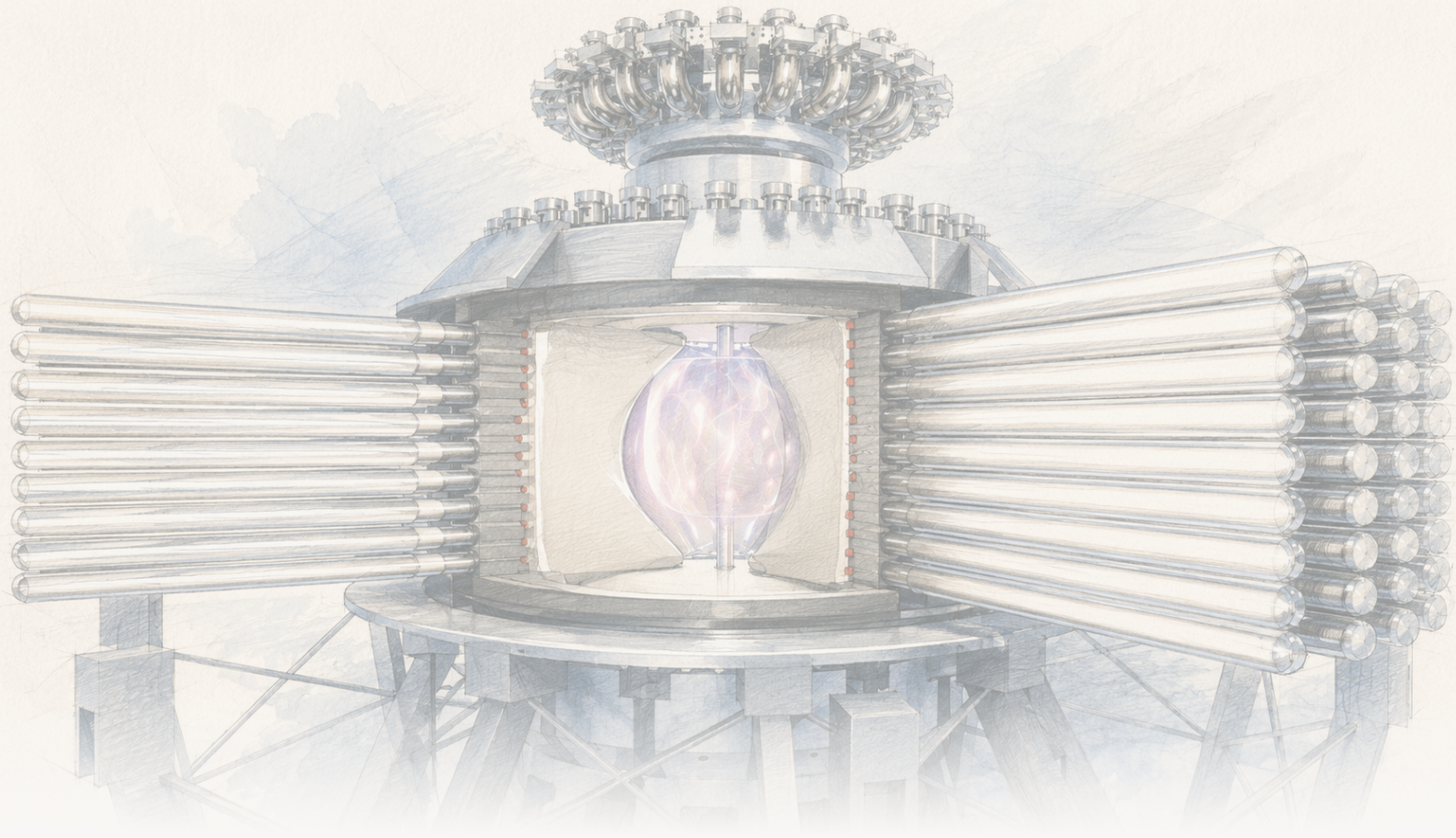




The CLEAN PAPER

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

一台核聚变装置靠压缩把等离子体加热了——真正的一步，以及它还不是什么电厂

General Fusion 的 LM26 用向内塌缩的锂内衬压缩磁化氘等离子体，并观察到等离子体升温：电子温度增加超过三倍，测得的峰值约 0.72 keV ($718 \pm 80\text{ eV}$ ，约 $800\text{ 万 }^\circ\text{C}$)，而公司分析把大部分升温归因于压缩本身——这正是其磁化靶核聚变路线依赖的机制。对这条核聚变路线而言，这是一个真正的工程检查点。但它也只是同一台机器最初 11 次实验，写在尚未同行评审的公司预印本中；温度仍比燃烧等离子体所需低约十倍，没有净能量、没有能量盈亏平衡，也没有发电。展示的是机制，不是建成一座电厂。

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

一台核聚变装置靠“挤压”把等离子体加热了——真正的一步，以及它还不是什么电厂

要让核聚变反应炉回收的能量超过自身运转所需，燃料等离子体必须同时够热、够密，而且维持在一起够久——这三个量合在一起，就是物理学家所说的 Lawson 判据。这个领域大多数人用两条主流路线追这个目标：一种是巨大的超导磁铁，例如 ITER 这类托卡马克；另一种是大型激光阵列，例如美国 National Ignition Facility 的惯性约束。

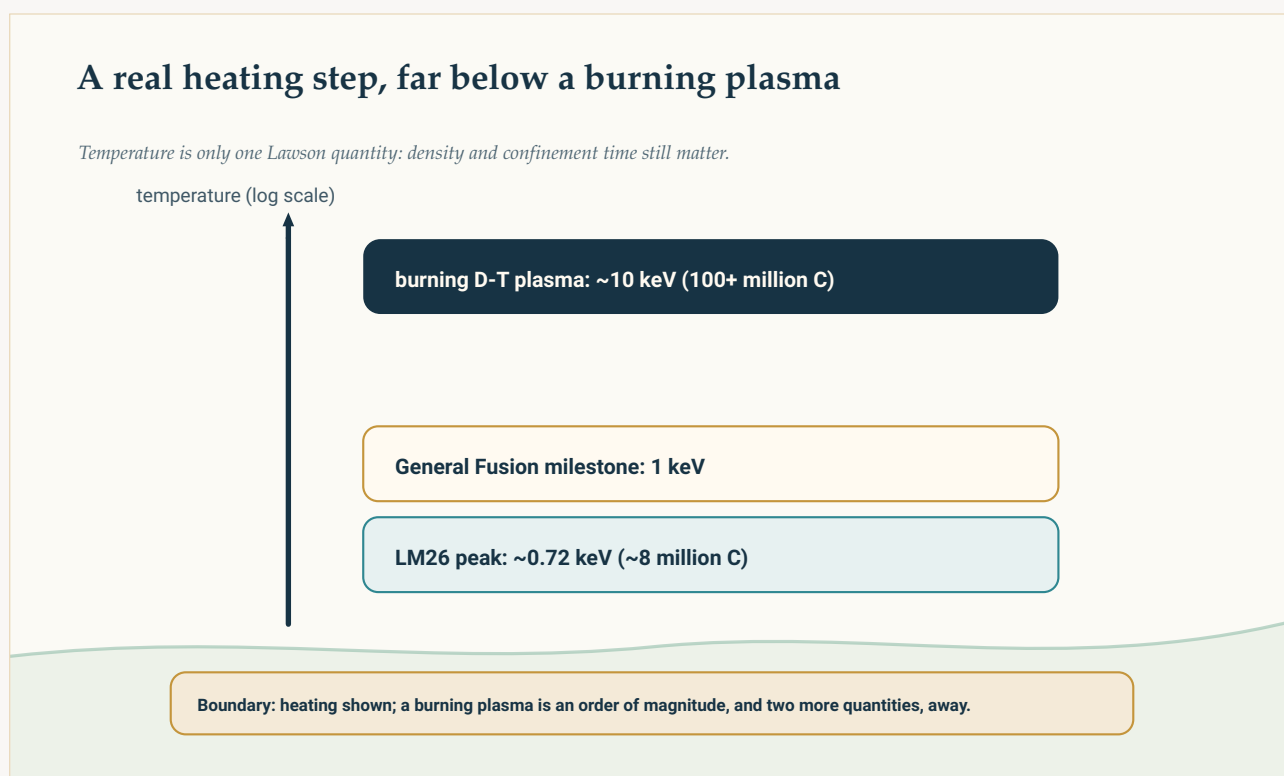
另有一小群公司押注第三条路：**磁化靶核聚变（magnetized target fusion, MTF）**。做法是先形成一团温暖、磁化的等离子体，再快速用机械方式把它压缩，让挤压本身提供加热——有点像柴油引擎不是靠火星塞，而是靠压缩把燃料点燃。

2026 年 6 月，加拿大公司 **General Fusion** 公布其 **Lawson Machine 26（LM26）** 的结果，测试这个核心赌注是否真的成立：机械压缩一团磁化等离子体，是否真的会像模型预测那样升温？在最初 11 次压缩实验中，一团球形托卡马克的氘等离子体被向内塌缩的固态锂内衬挤压。最好的几次实验里，等离子体在压缩过程中明显变得更热、更密、磁化也更强；而公司分析认为，大部分加热来自压缩本身。

对 MTF 路线而言，这是一个真正、明确的工程结果。但它也只是最初一批实验，写在一篇**尚未经同行评审的公司预印本**中；温度仍远低于燃烧等离子体所需，而且这不是核聚变发电、不是能量盈亏平衡，也不是电厂。

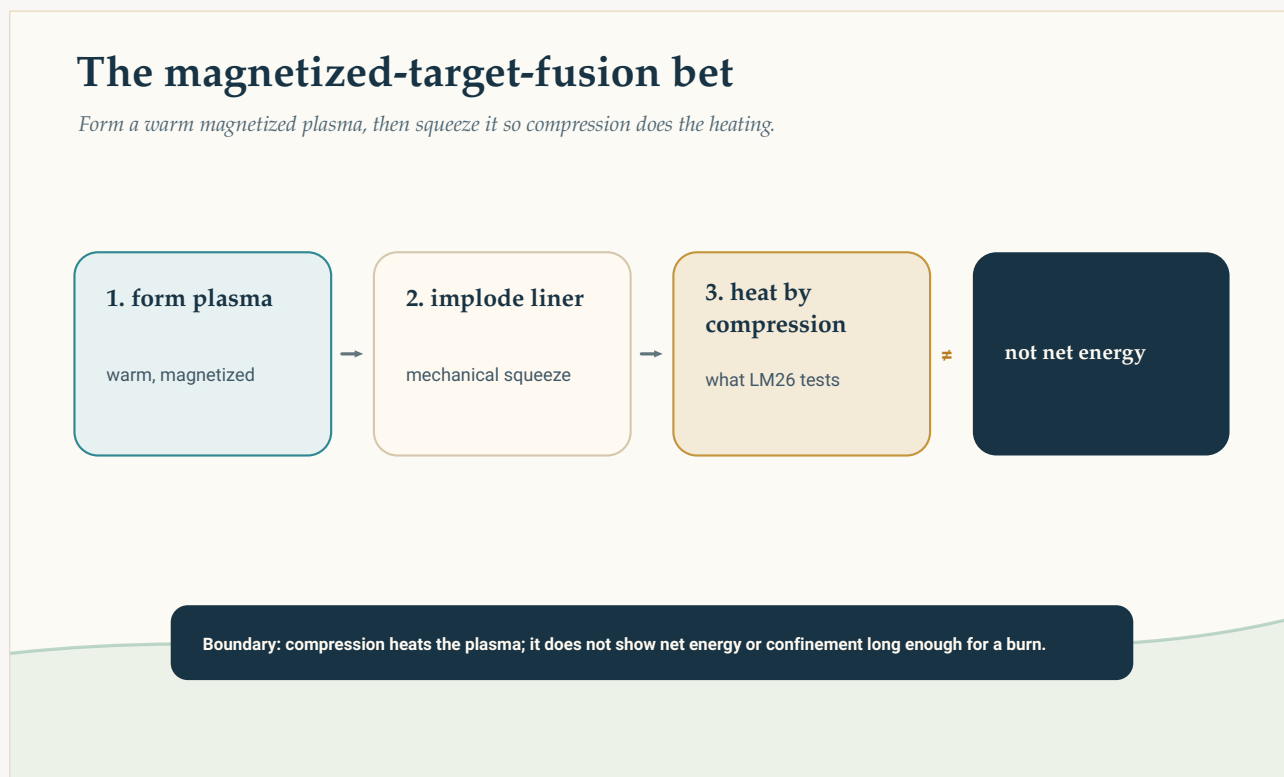
[video pending]

这是 General Fusion 的宣传视频，用来让读者看看 LM26 长什么样子；它不是这台机器未来一定能达成核聚变里程碑的独立证据。



一条温度阶梯：LM26 约 0.72 keV、General Fusion 的 1 keV 里程碑，以及燃烧中的氘氚等离子体大约需要的 10 keV。温度只是 Lawson 判据的三个条件之一。

Original diagram —The Clean Paper CC BY 4.0



磁化靶核聚变：先形成温暖、磁化的等离子体，再用向内塌缩的内衬压缩，靠机械挤压来加热——也就是柴油式压缩的赌注。LM26 测试的是压缩是否真的能加热等离子体；不是净能量，也不是约束条件是否足以燃烧。

Original diagram —The Clean Paper CC BY 4.0

“磁化靶核聚变”、“keV”与 Lawson 判据是什么

核聚变研究通常用千电子伏特（keV）表示等离子体温度，而不是摄氏度：1 keV 约等于 1,160 万 °C。氘氚燃料大约要到 10 keV（超过 1 亿 °C）才会有效率地融合——但温度只是三个必须同时满足的条件之一。Lawson 判据还要求足够的密度与足够长的约束时间，常把三者合成一个“三乘积”（温度 × 密度 × 约束时间）。把等离子体加热是必要条件，但单独做到这件事远远不够。磁化靶核聚变（MTF）位在两条主流路线中间。它不是靠巨大磁铁长时间约束高温等离子体，也不是用激光瞬间加热极小靶材；而是先形成磁化等离子体，再在微秒尺度内用机械方式压缩。如果可行，压缩会同时提高温度与密度，理论上可能不需要 ITER 级别磁铁或 NIF 级别激光就碰到核聚变条件。真正机器中的压缩是否真的能提供这种加热，正是 LM26 这类实验要回答的问题。

作者做了什么

- 建造并操作 **LM26**：在 General Fusion 的磁化靶核聚变机器中先形成球形托卡马克的氘等离子体，再由向内驱动的**固态锂内衬**压缩，径向压缩约为 **3 倍**。
- 执行**最初 11 次压缩实验**，布置大量诊断仪器，重建等离子体温度、密度与磁场随时间的变化；同时记录中子、X 光、可见光，以及高速摄影中的等离子体—壁面交互作用。
- 建立一套**整合物理模型**，比较压缩加热、Ohmic 加热（来自等离子体自身电流）以及边界能量损失，再与实测数据比对，以估算真正的加热来源。

他们发现了什么

- 等离子体在被压缩时真的升温。最好的实验中，电子温度增加**超过 3 倍**，电子密度约增加 **10 倍**，poloidal 磁场也约增加 **10 倍**，这些变化都伴随 3 倍径向压缩。最佳一次实验测得的**峰值电子温度约 0.72 keV**（Thomson scattering 为 718 ± 80 eV），约 800 万 °C。
- **大部分加热被归因于压缩**。整合模型认为，温度上升的大部分来自机械压缩本身，而不是 Ohmic 加热；这正是整条 MTF 路线赖以成立的机制。
- **中子发射在压缩期间增加**，与更热、更密的氘等离子体相符。

这并没有证明什么

- 这**不是**核聚变发电、能量盈亏平衡或净能量增益。没有任何地方显示产生的能量超过整台机器运转所需。这个结果谈的是把等离子体加热——核聚变循环中的一步——而不是反应炉的能量收支。
- 温度**仍然**大约差十倍才到燃烧等离子体。约 0.72 keV 大约是 800 万 °C；氘氚燃料要达到约 **10 keV**（**超过 1 亿 °C**），而且还要有足够的密度 × 约束时间，才能维持燃烧。General Fusion 自己的下一个目标只是 **1 keV**，仍离点火很远。
- “**大部分加热来自压缩**”是模型导出的结论，不是仪器直接读出来的数字。它来自整合物理模型对诊断数据的拟合；你多相信压缩、Ohmic 加热与损失之间的分配，就取决于你多相信那套模型。
- 这是一篇**公司预印本**，尚未同行评审。结果由建造机器、也需要为其前景募资的团队自行报告；目前还没有独立审查。
- 中子增加**不是具有能源意义的核聚变产额**。在这种条件下氘本来就可能产生一些中子，但离能用来发电的程度非常远。
- 它也没有支持公司另外提出的“**未来电厂将向电网供电**”等说法；那是另一个主张，独立报道对此一直高度保留。

证据有多强

- **核心主张很窄，也可检查**。“我们压缩一团磁化等离子体，它变热了，而且主要因压缩而变热”正是 MTF 必须通过的机制测试。预印本以大量诊断数据与明确能量平衡模型支持这一点。如果能通

过同行评审，这会是对这条路线真正但仍早期的验证。

- **限制是结构性的，不是装饰性的。**只有 11 次实验、一台机器、一个团队、尚未审查，而且标题温度仍比燃烧等离子体低一个数量级。最承重的结论——大多数加热来自压缩——依赖模型，因此同行评审真正需要问的是：这个分解到底稳不稳健。
- **最诚实的状态是：机制被示范，而不是能源里程碑已完成。**它把 MTF 从“压缩应该能加热等离子体”往“压缩确实能加热等离子体”推了一小步，除此之外不必加更多宏大含义。

为什么重要

磁化靶核聚变真正吸引人的地方不是记录，而是经济性。如果机械压缩真的能把等离子体加热到接近核聚变条件，就有可能不用 ITER 规模的磁铁，也不用 NIF 规模的激光，走一条更便宜、迭代更快的路——前提是它能成功。

而那个“如果”就是全部。它取决于这类很不华丽的检查点：压缩在真实机器中到底有没有提供模型承诺的加热？LM26 在第一批实验给出的答案是：有条件的“有”。正因为这个答案有条件，它才值得被精确记录——长梯子上的一级，由正在爬的人自己报告，还没经别人核验，而且离顶端仍很远。

简明总结

General Fusion 的 LM26 以向内塌缩的锂内衬压缩磁化氘等离子体，并观察到它升温——电子温度增加超过三倍，测得的峰值约 0.72 keV (718 ± 80 eV，约 800 万 °C)——而公司分析把大部分加热归因于压缩本身，也就是其磁化靶核聚变路线所依赖的核心机制。这对这条核聚变路线是一个真正、具体的工程步骤。但它也只是同一台机器最初 11 次实验，写在尚未同行评审的公司预印本中；温度仍比燃烧等离子体所需低约十倍，没有净能量、没有能量盈亏平衡，也没有发电。展示的是一个机制，不是建成一座电厂。

来源

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>