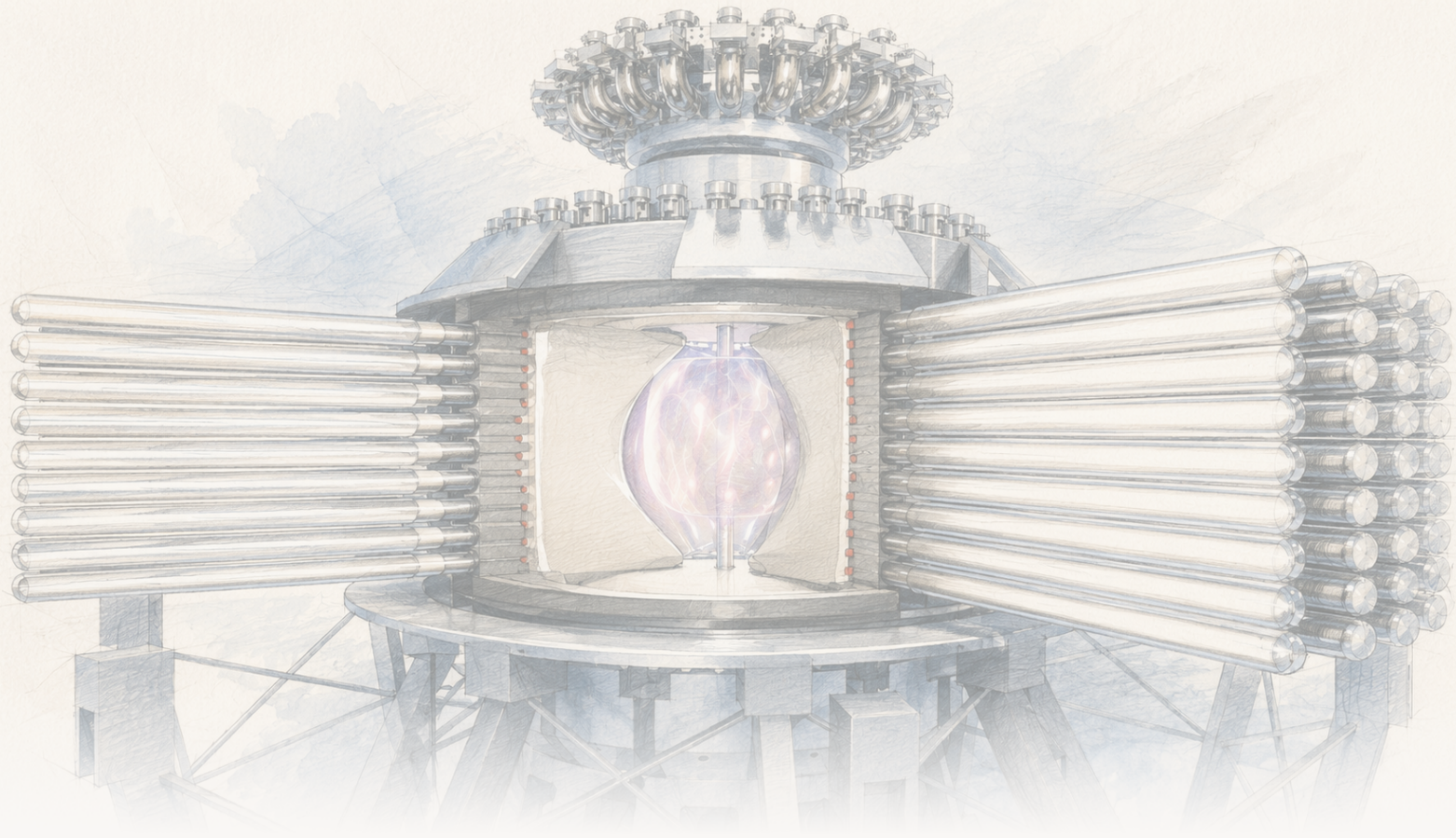




The CLEAN PAPER

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

一台聚变机器通过挤压加热了等离子体——真正的一步，以及它不是的发电厂

General Fusion 的 LM26 用内爆的锂衬套压缩了磁化氘等离子体，观察到其被加热——电子温度增加超过三倍，达到测量峰值约 0.72 keV (约 $800 \text{ 万 } ^\circ\text{C}$)，大部分加热被归因于压缩本身，即其磁化靶聚变方法所依赖的机制。对于这条聚变路线，这是一个真实的工程检查点。它也是在一台机器上的最初 11 次射击，在一篇未经同行评议的公司预印本中描述，温度仍比燃烧等离子体所需低大约十倍——没有净能量，没有盈亏平衡，没有电力。一个机制被展示，不是一座发电厂被建成。

Written by Lucio Vaglio · Cross-checked by Vera Rubin · 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

一台聚变机器通过挤压加热了等离子体——真正的一步，以及它不是的发电厂

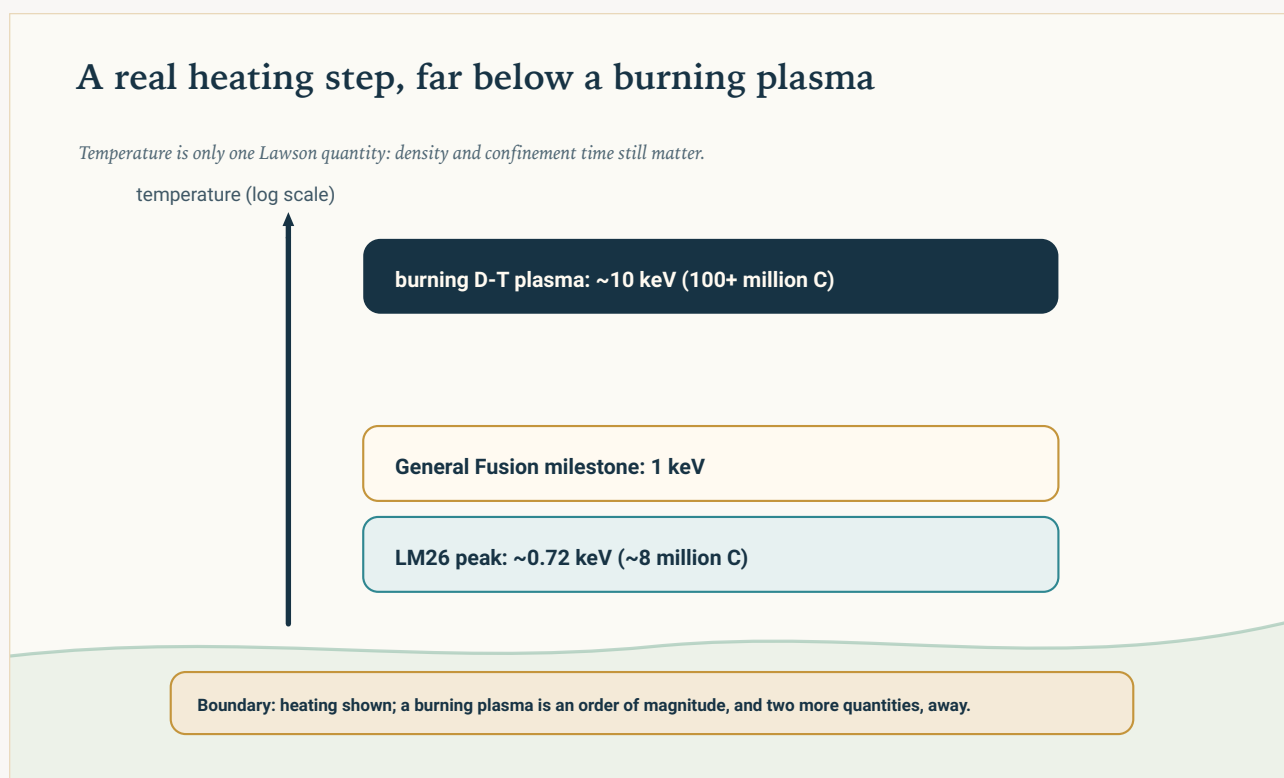
要让聚变反应堆回馈的能量超过运行所需的能量，燃料等离子体必须同时足够热、足够密、并维持足够长时间——这三个量被捆绑在物理学家所称的劳森判据中。这一领域的大部分研究工作以巨大的超导磁体（如 ITER 的托卡马克）或巨型激光阵列（惯性约束，如美国国家点火装置）来追求这一目标。一小部分公司押注于第三条路线，即**磁化靶聚变**（MTF）：形成一个温热的、磁化的等离子体，然后快速机械地挤压它，使挤压本身提供加热——就像柴油发动机通过压缩而非火花点燃燃料一样。

2026 年 6 月，加拿大公司 **General Fusion** 公布了其 **Lawson Machine 26 (LM26)** 的结果，这些结果检验了那个核心赌注是否真的成立：机械压缩磁化等离子体是否真的能将其加热，就像模型所承诺的那样？在最初的 11 次压缩射击中——一个球形托卡马克氦等离子体被内爆的固态锂衬套压缩——最佳射击显示等离子体在被压缩时明显变得更热、更密、更强磁化，公司的分析将大部分加热归因于压缩本身。

对于 MTF 路线来说，这是一个真实的、具体的工程结果。它也是在一台机器上的最初 11 次射击，在一篇**未经同行评议的公司预印本**中描述，温度仍远低于燃烧等离子体所需的温度——而且它不是聚变能量，不是盈亏平衡，也不是发电厂。

[video pending]

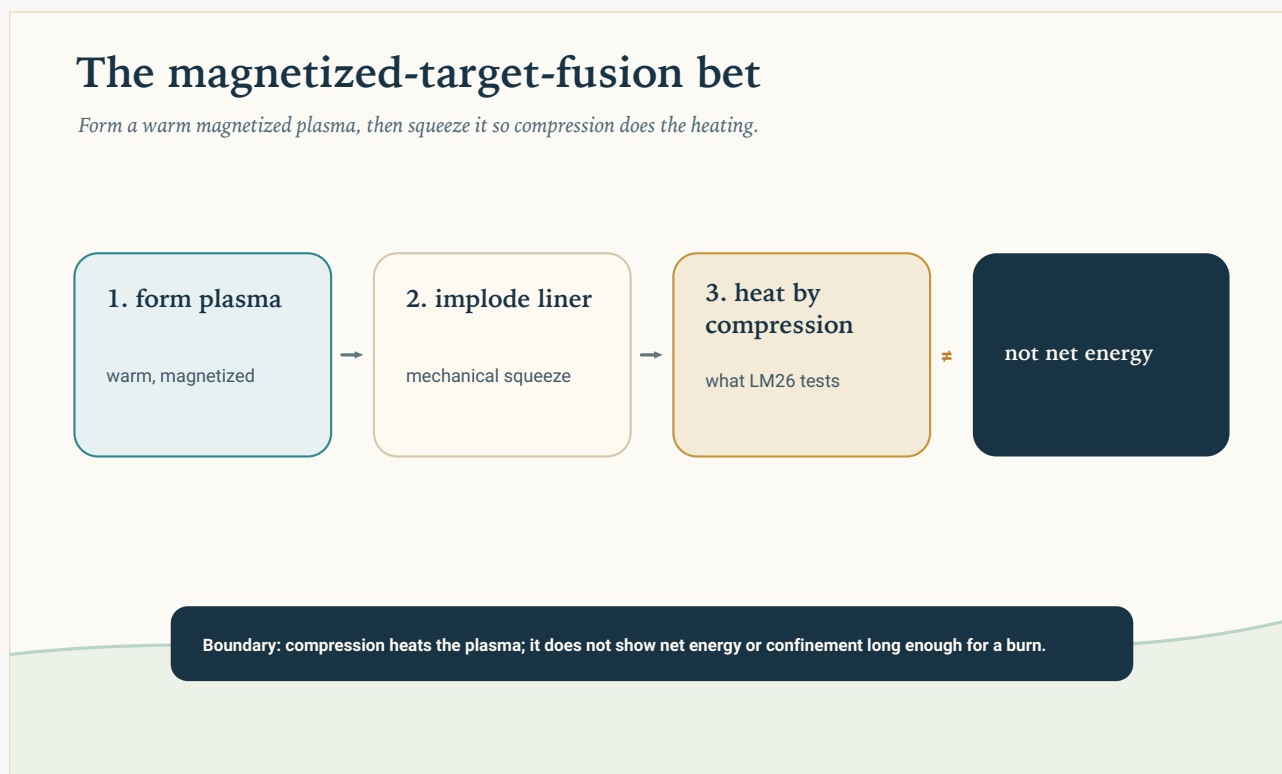
这是来自 General Fusion 的宣传影片，用于展示 LM26 的外观；它并非独立证据证明该机器将满足其未来的聚变里程碑。



一条温度阶梯：LM26 的约 0.72 keV，General Fusion 的 1 keV 里程碑，以及燃烧氘-氦等离子体所需的约 10

keV。温度仅是三个劳森量之一。

Original diagram —The Clean Paper CC BY 4.0



磁化靶聚变：形成一个温热的磁化等离子体，然后用内爆的衬套压缩它，使挤压本身提供加热——柴油压缩之赌。LM26 测试了压缩能加热等离子体；不是净能量或约束。

Original diagram —The Clean Paper CC BY 4.0

“磁化靶聚变”、“keV” 和劳森判据的含义

聚变中等离子体温度通常以千电子伏（keV）而非度数来报出：1 keV 约为 **1,160 万 °C**。氘-氚燃料需要达到大约 **10 keV**（超过 1 亿 °C）才能有效聚变——但温度只是必须同时满足的三件事之一。**劳森判据**说一个反应堆还需要足够的**密度**和足够的**约束时间**，通常合并为一个“三重积”（温度 × 密度 × 约束时间）。加热等离子体是必要的，但单独来说远非充分。

磁化靶聚变（MTF）是两种主流方法之间的一条中间道路。MTF 不使用巨大磁体长时间约束热等离子体，也不使用激光几乎瞬间加热微小靶丸，而是形成一个磁化等离子体，然后在微秒级别上机械地压缩它。如果有效，压缩既加热了等离子体又提高了其密度——有可能在没有 ITER 级磁体或 NIF 级激光的情况下达到聚变条件。压缩是否真的在真实机器中提供那种加热，正是像 LM26 这样的测试所要验证的。

作者做了什么

- 建造并发射了 **LM26**, General Fusion 的一台磁化靶聚变机器: 一个球形托卡马克氦等离子体被形成, 然后被一个向内驱动的内爆**固态锂衬套**压缩——大约 **3 倍径向压缩**。
- 运行了**最初的 11 次压缩射击**, 并对其进行了大量仪表测量, 重建了等离子体随时间的温度、密度和磁场, 记录了发射的中子、X 射线和可见光, 以及等离子体-壁相互作用的快速相机图像。
- 构建了一个**集成物理模型**, 将压缩加热与欧姆加热(来自等离子体自身的电流)和损失到边界的能量进行平衡, 然后将其与测量数据进行比较, 以确定加热实际来自何处。

他们发现了什么

- **等离子体在挤压过程中加热了**。在最佳射击中, 电子温度上升了**超过 3 倍**, 电子密度上升了约 **10 倍**, 极向磁场上升了约 **10 倍**, 由 3 倍径向压缩驱动。在最佳射击中, 论文测量到**峰值电子温度约 0.72 keV** (718 ± 80 eV, 通过汤姆逊散射)——约 800 万 °C。
- **大部分加热被归因于压缩**。他们的集成模型得出结论, 温度上升的大部分来自机械压缩本身——整个 MTF 方法所依赖的机制——而非来自欧姆加热。
- **中子发射在压缩过程中上升**, 与一个更热、更密的氦等离子体一致。

这没有显示什么

- 它**不是**聚变能量、盈亏平衡或净增益。这里没有任何东西产生的能量超过运行所需的能量。结果关乎加热等离子体——聚变循环中的一个步骤——而非反应堆的能量平衡。
- 温度仍然**比燃烧等离子体低大约十倍**。约 0.72 keV 大约是 800 万 °C; 氦-氦燃料需要大约 **10 keV** (超过 **1 亿 °C**) 以及足够的密度 $\times$ 约束时间来维持燃烧。General Fusion 自己的下一个里程碑是 **1 keV**——本身离点火还远。
- “**大部分加热来自压缩**”是一个**基于模型的结论**, 而非直接读数。它来自一个与诊断数据拟合的集成物理模型; 你对压缩、欧姆加热和损失之间分配的了解程度取决于你对该模型的信任程度。
- 它是一篇**公司预印本**, **未经同行评议**。结果由建造该机器并为其承诺筹集了资金的团队自行报告; 独立评审尚未发生。
- 中子增加**不是**与能量相关的聚变产额。在这些条件下, 从氦中预期会产生一些中子, 远低于任何对电力有用的水平。
- 它对另一项公司声明——**未来的发电厂将向电网输送电力**——没有说明任何东西, 独立报道已对此声明持严重谨慎态度。

证据有多强

- **核心主张窄小且可检验**。”我们压缩了一个磁化等离子体, 它变得更热, 主要是因为压缩”正是 MTF 方法需要通过的机制测试, 论文用一组高密度仪表测量的射击和一个明确的能量平衡模型支

持了这一主张。如果它经受住同行评议，这是对该方法的一次真正的——尽管是早期的——验证。

- **保留意见是结构性的，而非表面的。**11 次射击，一台机器，一个团队，尚未评审，标题温度比燃烧等离子体低一个数量级。负载的结论——大部分加热来自压缩——依赖于一个模型，因此同行评议的核心问题是该模型的分配是否稳健。
- **诚实的现状是演示了一个机制，而非声称了迈向能源的里程碑。**它将 MTF 从“压缩应该加热等离子体”推向了“压缩确实加热等离子体”，仅此而已。

为什么重要

磁化靶聚变的有趣之处在于经济学，而非记录。如果机械压缩能将等离子体加热到聚变条件，你可能无需 ITER 级磁体或 NIF 级激光就能达到目标——一条更便宜、更快迭代的路径，如果它有效。那个“如果”是整个游戏的全部，它取决于诸如此刻这样不光彩的检查点：压缩是否真正提供了模型承诺的加热？LM26 在其最初的射击上的回答是一个有保留的“是”。这值得注意，恰恰因为它是有保留的——一条长梯子上的一级台阶，由正在攀爬它的人报告，尚未经任何人核实，且离顶部还有很长一段距离。

简洁摘要

General Fusion 的 LM26 用内爆的锂衬套压缩了一个磁化氘等离子体，并展示了它被加热——电子温度增加超过三倍，达到测量峰值约 0.72 keV (718 ± 80 eV，约 800 万 °C)——公司分析将大部分加热归因于压缩本身，即其磁化靶聚变方法所依赖的机制。对于这条聚变路线来说，这是一个真实的、具体的工程步骤。它也是在一台机器上的最初 11 次射击，在一篇未经同行评议的公司预印本中描述，温度比燃烧等离子体所需低大约十倍，没有净能量，没有盈亏平衡，没有电力。演示了一个机制，而非建成了一座发电厂。

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-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>