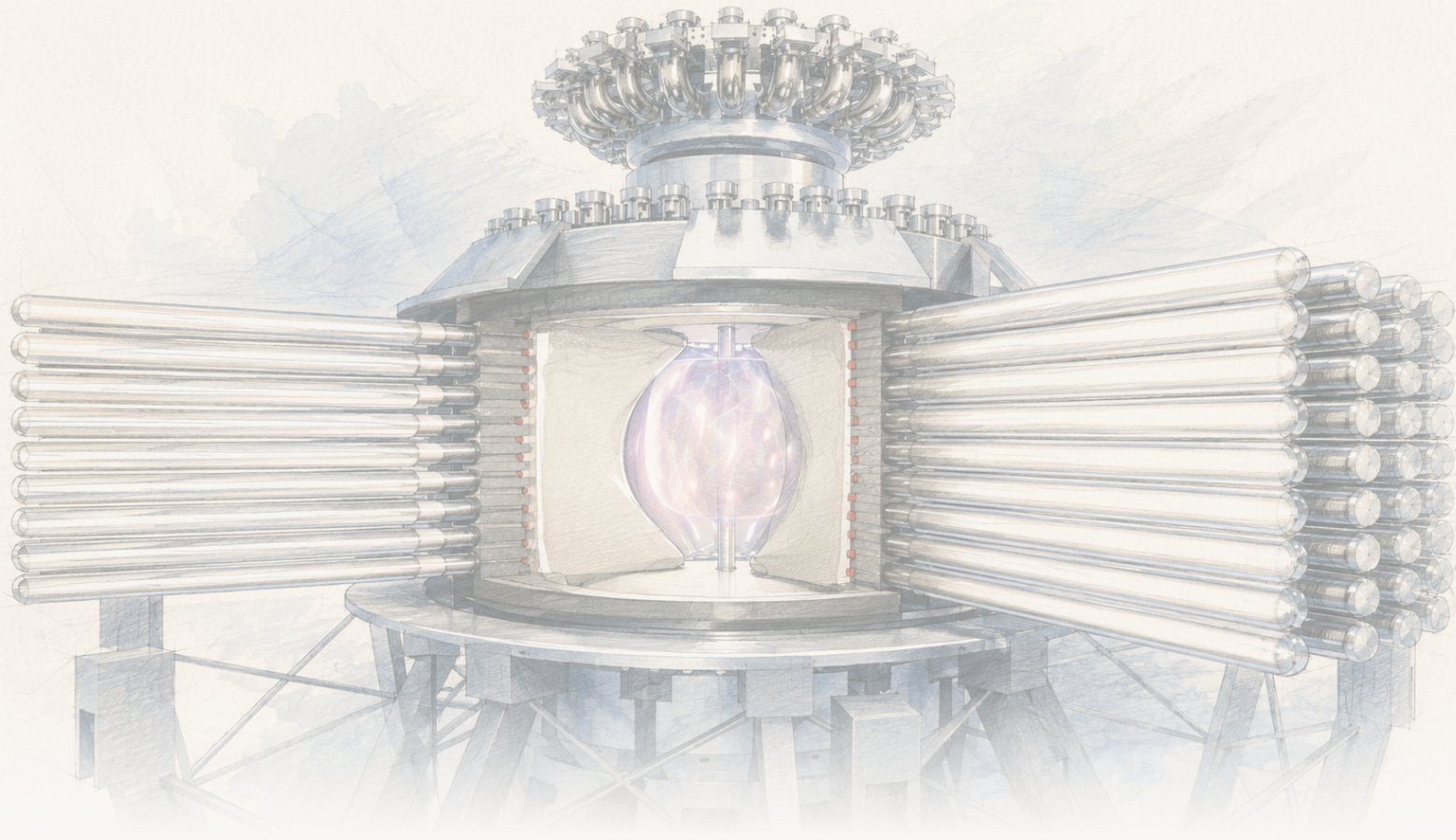




The CLEAN PAPER

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

ایک فیوژن مشین نے اپنے پلازما کو دبا کر گرم کیا — اصل پیش رفت یہی ہے، بجلی گھر نہیں

عمومی فیوژن کی LM26 نے *liner lithium imploding* سے *magnetized* ڈیوٹیریم پلازما کو *compress* کیا اور پلازما گرم ہوا: الیکٹران درجہ حرارت $3 \times$ سے زیادہ بڑھ کر بہترین *shot* میں تقریباً 72.0 keV (80 ± 718 eV، تقریباً 8 ملین °C) تک پہنچا۔ کمپنی کے *integrated* ماڈل کے مطابق حرارت کا بڑا حصہ خود دباؤ سے آیا، یعنی وہ طریقہ کار جس پر ہدف-فیوژن *magnetized* طریقہ منحصر ہے۔ یہ اس فیوژن راستہ کے لیے ایک حقیقی *engineering* مرحلہ ہے۔ مگر یہ صرف پہلے 11 *shots*، ایک مشین اور ایک *preprint company non-peer-reviewed* ہے، درجہ حرارت *burning* پلازما کے لیے درکار سطح سے تقریباً دس گنا کم ہے، *net* توانائی یا *breakeven* نہیں، اور *electricity* نسل تو بالکل نہیں۔** طریقہ کار دکھایا گیا ہے، طاقت *plant* نہیں بنا۔**

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: 23974.2606.arXiv/48550.10

ایک فیوژن مشین نے اپنے پلازما کو دبا کر گرم کیا — اصل پیش رفت یہی ہے، بجلی گھر نہیں

کسی فیوژن reactor کو چلانے میں جتنی توانائی لگتی ہے، اگر اسے اس سے زیادہ توانائی واپس دینی ہے تو fuel پلازما کو ایک ہی وقت میں کافی گرم، کافی گھٹنا اور کافی دیر تک محصور رہنا چاہیے۔ انہی تین مقداروں کو ملا کر طبیعیات دان **Lawson criterion** کہتے ہیں۔ زیادہ تر فیوژن تحقیق اس ہدف تک پہنچنے کے لیے بہت بڑے magnets superconducting استعمال کرتی ہے، جیسے ITER جیسے tokamaks یا انتہائی طاقتور lasers کی arrays، جیسے امریکا کا قومی Ignition مرکز۔ کچھ کمپنیاں ایک تیسرا راستہ آزما رہی ہیں: مقناطیسی ہدف فیوژن (MTF)۔ اس میں پہلے نسبتاً گرم اور مقناطیسی پلازما بنایا جاتا ہے، پھر اسے بہت تیزی سے compress mechanically کیا جاتا ہے تاکہ دباؤ ہی اسے مزید گرم کرے — کچھ اسی طرح جیسے engine diesel میں spark fuel کے بجائے دباؤ سے ignite ہوتا ہے۔

جون 2026 میں کینیڈین کمپنی عمومی فیوژن نے اپنی **Lawson** مشین 26 (LM26) کے نتائج پوسٹ کیے۔ مقصد MTF کے اسی بنیادی مفروضے کو آزمانا تھا: کیا مقناطیسی پلازما کو mechanically دبانے سے وہ واقعی اتنا گرم ہوتا ہے جتنا ماڈلز بتاتے ہیں؟ پہلے 11 دباؤ shots میں spherical-tokamak ڈیوٹیریم پلازما کو collapsing inward ٹھوس **liner lithium** سے دبایا گیا۔ بہترین shots میں دباؤ کے ساتھ پلازما نمایاں طور پر زیادہ گرم، زیادہ کثیف اور زیادہ strongly مقناطیسی ہوا۔ کمپنی کے تجزیہ کے مطابق اس حرارت کا بڑا حصہ خود دباؤ سے آیا۔

یہ MTF کے لیے ایک حقیقی اور مخصوص انجینئرنگ نتیجہ ہے۔ لیکن یہ صرف ابتدائی shots کا سیٹ ہے، ایک کمپنی پری پرنٹ میں رپورٹ ہوا ہے جس کی ہم مرتبہ جائزہ ابھی نہیں ہوئی، اور حاصل شدہ درجہ حرارت burning پلازما کے لیے درکار سطح سے ابھی بہت کم ہے۔ یہ فیوژن توانائی نہیں، برابر کارکردگی کی حد نہیں، اور طاقت plant بھی نہیں۔

[video pending]

یہ عمومی فیوژن کی footage promotional ہے، صرف یہ دکھانے کے لیے شامل کی گئی ہے کہ LM26 کیسی نظر آتی ہے۔ یہ اس بات کا آزاد شواہد نہیں کہ مشین اپنے مستقبل کے فیوژن milestones حاصل کر لے گی۔

A real heating step, far below a burning plasma

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

temperature (log scale)

burning D-T plasma: ~10 keV (100+ million C)

General Fusion milestone: 1 keV

LM26 peak: ~0.72 keV (~8 million C)

Boundary: heating shown; a burning plasma is an order of magnitude, and two more quantities, away.

درجہ حرارت سیڑھی: LM26 کا تقریباً 72.0 keV، عمومی فیوژن کا اگلا 1 keV سنگ میل، اور تقریباً 10 keV جو burning ڈیوٹیریم-ٹریٹیم پلازما کو درکار ہوتا ہے۔ درجہ حرارت Lawson criterion کی تین quantities میں سے صرف ایک ہے۔

Original diagram — The Clean Paper CC BY 0.4

The magnetized-target-fusion bet

Form a warm magnetized plasma, then squeeze it so compression does the heating.

1. form plasma

warm, magnetized

2. implode liner

mechanical squeeze

3. heat by compression

what LM26 tests

≠ not net energy

Boundary: compression heats the plasma; it does not show net energy or confinement long enough for a burn.

مقناطیسی ہدف فیوژن: پہلے گرم مقناطیسی پلازما بنائیں، پھر liner imploding سے اسے compress کریں تاکہ دباؤ خود حرارت پیدا کرے —

دباؤ-diesel جیسا بنیادی خیال۔ LM26 نے یہ ٹیسٹ کیا کہ دباؤ پلازما کو گرم کرتی ہے؛ net توانائی یا محدود جگہ کو نہیں۔

Original diagram — The Clean Paper CC BY 0.4

Magnetized“ ہدف فیوژن، ”keV“ اور criterion Lawson کیا ہیں

تقریباً 1 keV سے زیادہ، 100 ملین °C یعنی 10 keV تقریباً لیے کے فیوژن مؤثر کو fuel ڈیوٹیریم-tritium ہے۔ برابر کے °C 6.11 ملین جگہ محدود کافی اور کثافت مناسب مطابق کے Lawson criterion نہیں۔ کافی حرارت درجہ صرف مگر ہے۔ ہوتا درکار جاتا دیکھا پر طور کے وقت جگہ محدود × کثافت × حرارت درجہ یعنی حاصل ”تہرا ایک انہیں اکثر ہیں؛ لازمی بھی وقت نہیں۔ کافی لیے کے reactor فیوژن یہ اکیلا مگر ہے، قدم ضروری کرنا گرم کو پلازما ہے۔

مقناطیسی ہدف فیوژن (MTF) دو mainstream طریقہ کار کے درمیان ایک راستہ ہے۔ ایک hot پلازما کو بڑے magnets کے ذریعے دیر تک confined رکھنے کے بجائے، یا tiny ہدف کو lasers سے تقریباً فوراً گرم کرنے کے بجائے، MTF پہلے مقناطیسی پلازما بناتا ہے اور پھر microseconds کے دوران اسے compress mechanically کرتا ہے۔ اگر یہ طریقہ کام کرے تو دباؤ پلازما کو گرم بھی کرے گی اور کثافت بھی بڑھائے گی، ممکنہ طور پر پیمانہ-ITER magnets یا پیمانہ-NIF lasers کے بغیر فیوژن حالات تک پہنچنے کا راستہ دے گی۔ حقیقی مشین میں یہ دباؤ واقعی مطلوبہ حرارت دیتی ہے یا نہیں — LM26 جیسے ٹیسٹ کا اصل سوال یہی ہے۔

مصنفین نے کیا کیا

- عمومی فیوژن میں LM26 نام کی مقناطیسی-ہدف-فیوژن مشین بنائی اور چلائی۔ پہلے spherical-tokamak ڈیوٹیریم پلازما بنایا گیا، پھر driven inward ٹھوس liner lithium نے اسے تقریباً $3 \times$ radial دباؤ تک دبا۔
- پہلے 11 دباؤ shots لیے گئے اور بہت سے diagnostics سے پلازما کا درجہ حرارت، کثافت اور مقناطیسی شعبہ وقت کے ساتھ بازسازی کرنا کیا گیا۔ ساتھ ہی emitted، neutrons، X-rays نظر آنے والا روشنی اور پلازما-wall تفاعل کی تیز-کیمرا تصاویر ریکارڈ کی گئیں۔
- ایک integrated طبیعیات ماڈل بنایا گیا جو دباؤ حرارت، پلازما موجودہ سے ہونے والی Ohmic حرارت، اور حد losses کے درمیان توانائی توازن کرتا ہے۔ پھر اسے ناپا گیا ڈیٹا سے موازنہ کر کے یہ تخمینہ کیا گیا کہ حرارت کہاں سے آئی۔

کیا ملا

- دباؤ کے ساتھ پلازما گرم ہوا۔ بہترین shots میں الیکٹران درجہ حرارت $3 \times$ سے زیادہ، الیکٹران کثافت تقریباً $10 \times$ اور poloidal مقناطیسی شعبہ تقریباً $10 \times$ بڑھا، جبکہ radial دباؤ تقریباً $3 \times$ تھی۔ بہترین shot میں Thomson scattering سے peak الیکٹران درجہ حرارت تقریباً 72.0 keV، یعنی 718 ± 80 eV، ناپا گیا — تقریباً 8 ملین °C۔
- زیادہ تر حرارت کو دباؤ سے منسوب کیا گیا۔ Integrated ماڈل کے مطابق درجہ حرارت rise کا اکثریتی حصہ میکانی دباؤ سے آیا، نہ کہ Ohmic حرارت سے۔ یہی وہ طریقہ کار ہے جس پر پوری MTF طریقہ کھڑی ہے۔
- دباؤ کے دوران neutron اخراج بڑھی، جو زیادہ گرم اور زیادہ کثیف ڈیوٹیریم پلازما کے مطابق ہے۔

یہ کیا نہیں دکھاتا

- یہ فیوژن توانائی، برابر کارکردگی کی حد یا net فائدہ نہیں۔ مشین نے اسے چلانے میں لگنے والی توانائی سے زیادہ توانائی پیدا نہیں کی۔ نتیجہ صرف پلازما حرارت سے متعلق ہے — فیوژن چکر کا ایک قدم — reactor کے توانائی توازن سے نہیں۔
- درجہ حرارت ابھی بھی burning پلازما سے تقریباً دس گنا کم ہے۔ 72.0 keV تقریباً 8 ملین °C ہے؛ ڈیوٹیریم-fuel tritium کو تقریباً 10 keV (100 ملین °C سے زیادہ) اور ساتھ کافی ٹکافت × محدود جگہ وقت درکار ہے۔ عمومی فیوژن کا اگلا سنگ میل خود 1 keV ہے، جو ignition سے اب بھی بہت دور ہے۔
- “زیادہ تر حرارت دباؤ سے آئی” ایک ماڈل پر مبنی نتیجہ ہے، براہ راست آلہ مطالعہ نہیں۔ یہ diagnostics پر مطابقت کیے گئے integrated طبیعیات ماڈل سے نکلتا ہے؛ دباؤ، Ohmic حرارت اور losses کے درمیان تقسیم پر اعتماد اسی ماڈل کی صحت پر منحصر ہے۔
- یہ کہنی پری پرنٹ ہے، ہم مرتبہ جائزہ شدہ مقالہ نہیں۔ نتائج اسی ٹیم نے رپورٹ کیے ہیں جس نے مشین بنائی اور جس کی تجارتی آئندہ اسی طریقہ سے جڑی ہے؛ آزاد جائزہ ابھی نہیں ہوئی۔
- Neutron اضافہ توانائی-متعلقہ فیوژن پیداوار نہیں۔ ڈیوٹیریم پلازما ان حالات پر کچھ neutrons پیدا کر سکتا ہے، مگر طاقت نسل کے لیے درکار سطح سے بہت دور۔
- یہ اس الگ کہنی دعویٰ کے بارے میں کچھ نہیں بتاتا کہ کوئی آئندہ plant گرڈ کو electricity دے گا۔ آزاد reporting اس دعوے کو کافی احتیاط سے دیکھتی رہی ہے۔

شواہد کتنے مضبوط ہیں

- بنیادی حصہ دعویٰ محدود اور قابل جانچ ہے۔ “ہم نے مقناطیسی پلازما compress کیا، وہ گرم ہوا، اور ماڈل کے مطابق حرارت کا بڑا حصہ دباؤ سے آیا” — یہی MTF طریقہ کار کا ضروری ٹیسٹ ہے۔ مقالہ اسے shots instrumented heavily اور واضح توانائی-توازن ماڈل سے تائید کرتا ہے۔ اگر ہم مرتبہ جائزہ میں قائم رہا تو طریقہ کی ایک حقیقی، اگرچہ ابتدائی، validation ہوگی۔
- Caveats بنیادی ہیں، cosmetic نہیں۔ صرف 11 shots، ایک مشین، ایک ٹیم، ابھی ہم مرتبہ جائزہ نہیں، اور سرخی درجہ حرارت burning پلازما سے تقریباً ایک ترتیب of قدم۔ سب سے اہم دعویٰ — حرارت کا اکثریتی حصہ دباؤ سے — ماڈل پر منحصر ہے، اس لیے ہم مرتبہ جائزہ کا مرکزی سوال یہی ہوگا کہ یہ decomposition کتنی مضبوط ہے۔
- درست حیثیت: طریقہ کار دکھایا گیا، توانائی سنگ میل نہیں۔ نتیجہ MTF کو “دباؤ کو پلازما گرم کرنا چاہیے” سے “دباؤ نے پلازما کو واقعی گرم کیا” کی طرف ایک قدم لے جاتا ہے — اس سے زیادہ بڑا دعویٰ نہیں۔

یہ کیوں اہم ہے

مقناطیسی ہدف فیوژن کی دلچسپی ریکارڈز میں نہیں بلکہ ممکنہ economics میں ہے۔ اگر میکانی دباؤ پلازما کو فیوژن حالات کی طرف قابل اعتماد انداز میں گرم کر سکے تو شاید پیمانہ-ITER magnets یا پیمانہ-NIF lasers کے بغیر راستہ بنے — زیادہ سستا اور زیادہ تیزی سے iterate ہونے والا، اگر پوری زنجیر کام کرے۔ یہی “اگر” اصل مسئلہ ہے، اور اسے ایسے غیر glamorous checkpoints سے جانچا جاتا ہے: کیا دباؤ واقعی وہ حرارت دیتی ہے جس کا ماڈل وعدہ کرتا ہے؟ LM26 کے پہلے shots کا جواب ایک محتاط “ہاں” ہے۔ اس کی اہمیت اسی لیے ہے کہ جواب qualified ہے — لمبی سیڑھی کا ایک زینہ، اسے بنانے والی

ٹیم کی اپنی رپورٹ، ابھی آزاد scrutiny کے بغیر، اور منزل سے بہت نیچے۔

صاف خلاصہ

عمومی فیوژن کی LM26 نے liner lithium imploding سے مقناطیسی ڈیوٹیریم پلازما کو compress کیا اور پلازما گرم ہوا: الیکٹران درجہ حرارت $3 \times$ سے زیادہ بڑھ کر بہترین shot میں تقریباً $72.0 \pm 80 \text{ keV}$ ، 8 eV تقریباً 8 ملین $^{\circ}\text{C}$ تک پہنچا۔ کمپنی کے integrated ماڈل کے مطابق حرارت کا بڑا حصہ خود دباؤ سے آیا، یعنی وہ طریقہ کار جس پر مقناطیسی-ہدف-فیوژن طریقہ منحصر ہے۔ یہ اس فیوژن راستہ کے لیے ایک حقیقی انجینئرنگ مرحلہ ہے۔ مگر یہ صرف پہلے 11 shots، ایک مشین اور ایک غیر-ہم مرتبہ جائزہ شدہ کمپنی پری پرنٹ ہے؛ درجہ حرارت burning پلازما کے لیے درکار سطح سے تقریباً دس گنا کم ہے، net توانائی یا برابر کارکردگی کی حد نہیں، اور electricity نسل تو بالکل نہیں۔ طریقہ کار دکھایا گیا ہے؛ طاقت plant نہیں بنا۔

ماخذ

fusion target magnetized LM26 the on heating compressional of science The Fusion), (General al. et Howard J. S. (2026) [physics.plasm-ph] arXiv:2606.23974 experiment, <https://arxiv.org/abs/2606.23974>

Fusion Target Magnetized LM26 with Heating Plasma Compressional Achieves Fusion 'General Fusion, General (2026 June announcement, (company Machine'

<https://generalfusion.com/post/general-fusion-achieves-compressional-plasma-heating-with-1>

(2026) remain' questions big but - grid to electricity deliver will plant says firm 'Nuclear-fusion news, Nature <https://www.nature.com/articles/d41586-026-01795-z>