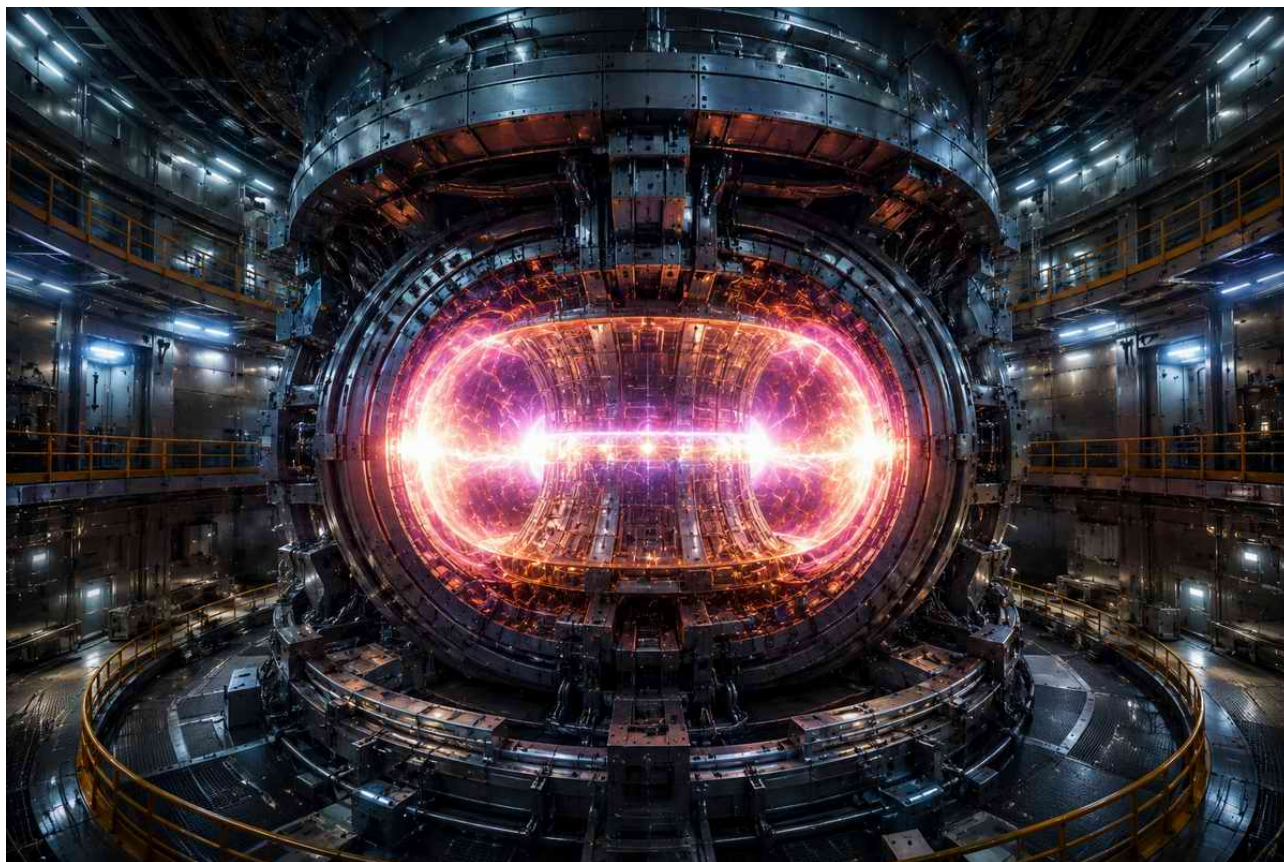


Китайские ученые приблизились к решению двух ключевых проблем термоядерной энергетики



Дата публикации: 18.05.2026

Термоядерная энергетика уже много десятилетий считается одной из самых перспективных технологий будущего. Управляемый термоядерный синтез способен обеспечить человечество практически неисчерпаемым источником энергии без выбросов углекислого газа и с минимальным количеством долгоживущих радиоактивных отходов. Однако создание стабильного термоядерного реактора остается одной из самых сложных научно-инженерных задач современности. Новое исследование китайских ученых может приблизить решение сразу двух ключевых проблем, которые долгое время препятствовали развитию этой технологии.

Работа была проведена на экспериментальном термоядерном реакторе EAST — одном из наиболее известных токамаков мира, расположенном в Китае. Исследователи из Института физики плазмы Китайской академии наук разработали новый режим работы плазмы, который одновременно уменьшает экстремальные тепловые нагрузки на элементы реактора и подавляет опасные плазменные неустойчивости, сохраняя при этом высокое качество удержания

энергии.

Термоядерный синтез основан на слиянии легких атомных ядер с выделением огромного количества энергии — именно такой процесс происходит внутри Солнца и других звезд. Для запуска реакции вещество необходимо нагреть до температур в десятки и сотни миллионов градусов. При таких условиях материя переходит в состояние плазмы — сверхгорячего ионизированного газа.

Поскольку ни один материал не способен выдержать прямой контакт с такой плазмой, ее удерживают мощными магнитными полями внутри специальных установок — токамаков. Однако именно стабильность плазмы остается главной проблемой на пути к созданию промышленного термоядерного реактора.

Одной из самых опасных зон считается дивертор — специальная выхлопная система реактора, предназначенная для отвода избытка тепла и частиц с периферии плазмы. На дивертор приходятся колоссальные тепловые нагрузки, сравнимые с воздействием, которое испытывают космические аппараты при входе в атмосферу Земли. Со временем такие нагрузки могут разрушать материалы и снижать надежность реактора.

Дополнительную опасность представляют так называемые ELM-разряды — локализованные плазменные выбросы на краю плазмы. Эти процессы напоминают миниатюрные солнечные вспышки и способны мгновенно выбрасывать огромные потоки энергии на внутренние поверхности реактора. Именно ELM-неустойчивости долгое время считались одной из главных угроз для будущих термоядерных электростанций.

При этом наиболее эффективный режим удержания плазмы — H-мода — как раз сопровождается возникновением подобных нестабильностей. Поэтому ученым необходимо было найти способ одновременно сохранять высокое удержание энергии и устранять разрушительные выбросы.

В новом исследовании китайские физики использовали инновационный подход, основанный на точном управлении подачей легких примесных газов внутрь плазмы. В результате был создан новый режим, получивший название DTP — режим отсоединенного дивертора и турбулентно-доминирующего пьедестала.

Ключевая идея заключалась в частичном «отрыве» плазмы от поверхности дивертора. Такой подход позволяет значительно снизить поток тепла, достигающий элементов реактора, без критического ухудшения параметров удержания плазмы.

Особенно важным достижением стало то, что ученым удалось полностью подавить ELM-разряды. При этом удержание энергии не только сохранилось, но и улучшилось: температура электронов на периферии плазмы повысилась, а сама система оставалась стабильной примерно в течение минуты — очень значимого времени для подобных экспериментов.

Исследователи объясняют этот эффект возникновением особой микротурбулентности внутри плазмы. Она естественным образом перераспределяет тепло и частицы, предотвращая накопление избыточного давления, которое обычно приводит к ELM-вспышкам.

Современная физика плазмы рассматривает такие турбулентные процессы как один из важнейших механизмов саморегуляции термоядерных систем. Контролируемая турбулентность помогает стабилизировать край плазмы и одновременно поддерживать высокую температуру в центральной области реактора.

Эксперты отмечают, что результаты эксперимента особенно важны для будущих международных проектов, включая ITER — крупнейший в мире строящийся термоядерный реактор во Франции. Одной из главных задач ITER также является поиск устойчивых режимов работы плазмы при длительных импульсах.

Термоядерная энергетика считается потенциально революционной технологией по нескольким причинам: практически неограниченные запасы топлива, отсутствие выбросов CO₂, высокая энергоемкость, минимальные объемы долгоживущих радиоактивных отходов и низкий риск аварий по сравнению с традиционными ядерными реакторами деления.

Основным топливом для термоядерного синтеза выступают изотопы водорода — дейтерий и тритий. Дейтерий можно получать из морской воды, а потенциальные запасы энергии при этом огромны. По оценкам специалистов, всего несколько граммов термоядерного топлива способны выделять энергию, сопоставимую с сжиганием тонн угля.

Тем не менее путь к коммерческим термоядерным электростанциям остается сложным. Среди основных задач ученые продолжают выделять: устойчивое удержание плазмы, защиту материалов реактора, повышение энергетической эффективности, длительность рабочих импульсов и снижение стоимости эксплуатации установок.

Новый режим DTP рассматривается как один из наиболее перспективных шагов к решению этих проблем. По мнению исследователей, он демонстрирует возможность одновременно контролировать тепловые нагрузки и сохранять

высокоэффективное удержание плазмы — именно это долгое время считалось одной из самых труднодостижимых целей в области управляемого термоядерного синтеза.

Ссылка: «Турбулентно-управляемый режим высокой локализации с отрывом дивертора в токамаке с металлическими стенками, не подверженный воздействию краевых локализованных мод» DOI: [10.1103/7r3f-dqft](https://doi.org/10.1103/7r3f-dqft).