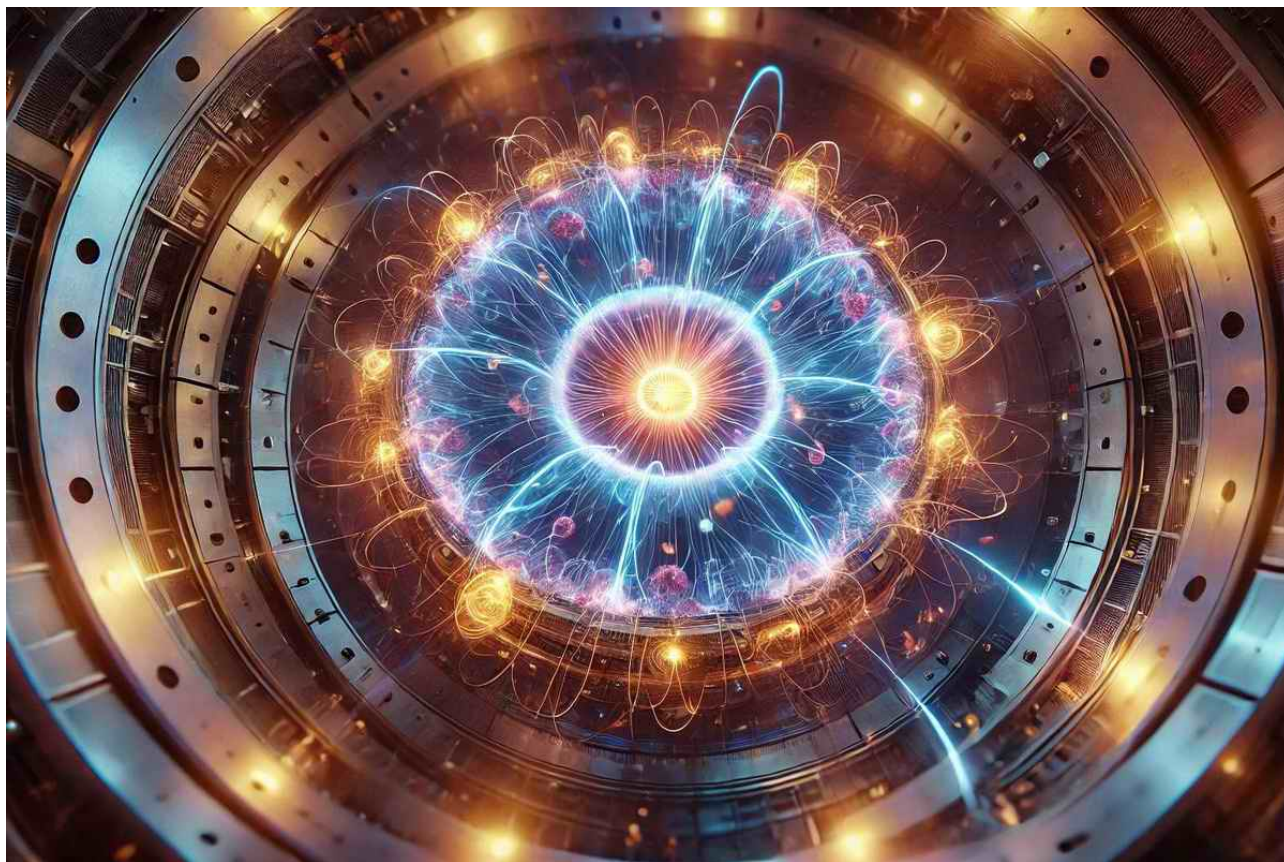


Прорыв в термоядерной энергии: как учёные стабилизируют плазму в токамаках



Дата публикации: 11.01.2025

Учёные сделали значительный шаг на пути к стабильной термоядерной энергии — чистому и безграничному источнику, питающему звёзды. В новом исследовании, проведённом на токамаке ASDEX Upgrade, удалось выяснить, как энергичные частицы могут стабилизировать нестабильности плазмы, известные как локализованные моды на краю (ELM). Этот прорыв стал результатом международного сотрудничества и использовал экспериментальные данные, моделирование и вычислительные симуляции.

Термоядерный синтез — это процесс, при котором ядра лёгких элементов объединяются, высвобождая огромные количества энергии. Реакторы типа токамак, использующие мощные магнитные поля для удержания плазмы, рассматриваются как наиболее перспективный подход для реализации этого процесса на Земле. Однако управление сложной жидкоподобной плазмой остаётся одной из ключевых задач.

Как энергичные частицы помогают управлять плазмой

Основная проблема современных **токамаков** заключается в неустойчивостях на краю плазмы. Эти неустойчивости вызывают тепловые потери и эрозию компонентов реактора, что может сделать длительную работу устройства невозможной. Однако исследование показало, что энергичные ионы способны вступать в резонансное взаимодействие с волнами ELM, изменяя их пространственно-временную структуру. Этот механизм напоминает движение серфера, который взаимодействует с волной, создавая её особую динамику.

Для изучения этого явления учёные использовали гибридный код MEGA, позволяющий моделировать самосогласованное взаимодействие между ELM и энергичными частицами. Эти модели сравнивались с экспериментальными данными, собранными на ASDEX Upgrade. Результаты показали, что популяция энергичных частиц играет ключевую роль в стабилизации неустойчивостей, открывая новые пути для управления плазмой в реакторах следующего поколения.

Технологический прорыв стал возможен благодаря усилиям Европейского консорциума по термоядерному синтезу EUROfusion. Впервые удалось продемонстрировать, как кинетические эффекты энергичных частиц могут активно воздействовать на неустойчивости плазмы. Этот подход может стать основой для использования энергичных ионов как инструмента управления плазмой в будущем.

Новые данные особенно важны для проекта ITER — крупнейшего токамака, который сейчас строится во Франции. Здесь управление ELM является критической задачей для поддержания стабильной работы реактора и достижения необходимых параметров для самоподдерживающегося синтеза. Ожидается, что на ITER будет реализован сильный обмен энергией и импульсом между энергичными ионами и ELM, что обеспечит устойчивость плазмы.

Эти результаты приближают нас к эпохе термоядерной энергетики. Возможность контролировать процессы в плазме открывает путь к созданию электростанций, которые обеспечат человечество неисчерпаемой энергией, не производя углеродных выбросов. Это станет революцией в энергетике, предлагая решение одной из самых насущных проблем XXI века — обеспечение устойчивого энергоснабжения для растущего населения планеты.

Работа учёных показывает, что стабильный термоядерный синтез — это не далёкая фантазия, а вполне достижимая цель. Этот технологический и научный

прорыв прокладывает путь к будущему, в котором энергия звёзд станет доступной для каждого.

Ссылка: «Влияние энергичных ионов на моды, локализованные на ребрах в плазме токамака» [DOI: 10.1038/s41567-024-02715-6](https://doi.org/10.1038/s41567-024-02715-6).