

Аксионы и темная материя: как термоядерная физика приблизила разгадку космической тайны

Дата публикации: 28.12.2025

Одна из главных загадок современной физики связана с природой темной материи — невидимого компонента Вселенной, который не излучает свет, но определяет динамику галактик и крупномасштабную структуру космоса. На протяжении десятилетий ученые пытались понять, из каких частиц она может состоять и как их можно обнаружить экспериментально. Новое теоретическое исследование, выполненное физиками из University of Cincinnati совместно с коллегами из ведущих научных центров, предлагает неожиданный и концептуально важный подход: использование термоядерных реакторов как потенциальных источников частиц темного сектора.

Работа объединяет астрофизику, физику элементарных частиц и физику плазмы, связывая космологические процессы ранней Вселенной с технологиями управляемого термоядерного синтеза. В центре внимания исследования находятся аксионы — гипотетические сверхлёгкие частицы, которые давно рассматриваются как один из наиболее перспективных кандидатов на роль темной материи. Хотя их существование пока не подтверждено напрямую, аксионы естественным образом возникают в ряде расширений Стандартной модели и способны объяснить как космологические наблюдения, так и некоторые фундаментальные симметрии в физике.

Темная материя играет ключевую роль в теории Большого взрыва и последующей эволюции Вселенной. Наблюдения показывают, что обычная барионная материя составляет лишь небольшую долю общего содержания космоса, тогда как основная масса приходится на невидимый компонент. Его присутствие обнаруживается через гравитационное влияние: вращение галактик, движение галактических скоплений, гравитационное линзирование и распределение реликтового излучения. Одним из наиболее элегантных объяснений этих эффектов является предположение о существовании аксионов или аксионоподобных частиц.

Авторы нового исследования рассматривают термоядерные реакторы на дейтерий-тритиевом топливе, аналогичные тем, что разрабатываются в рамках международных проектов, как экстремальные физические среды, в которых могут рождаться редкие субатомные частицы. В процессе термоядерного синтеза высвобождаются колоссальные потоки нейтронов, которые взаимодействуют с материалами стенок реактора и литиевой футеровкой. Эти взаимодействия могут приводить к возникновению новых частиц в результате

ядерных реакций и процессов тормозного излучения, при которых нейтроны теряют энергию, испуская слабовзаимодействующие кванты.

Теоретические расчёты показывают, что при определённых условиях такие процессы способны порождать аксионы или аксионоподобные частицы, отличные по механизму образования от тех, которые возникают в недрах Солнца или в ранней Вселенной. Это принципиально важно, поскольку именно сравнение солнечных и лабораторных источников аксионов долгое время считалось непреодолимым ограничением для подобных экспериментов. Новый подход демонстрирует, что термоядерные установки могут задействовать иные каналы генерации частиц тёмного сектора, ранее практически не рассматривавшиеся.

Исследование было выполнено при участии теоретиков из Fermi National Accelerator Laboratory, Massachusetts Institute of Technology и Technion - Israel Institute of Technology, а его результаты опубликованы в журнале Journal of High Energy Physics. Авторы подчеркивают, что речь идет не о немедленном экспериментальном открытии, а о создании теоретической основы, которая в будущем может быть проверена с помощью детекторов нового поколения.

Интересно, что сама идея использования термоядерных реакторов для поиска частиц тёмной материи давно существует в научной среде и даже стала частью популярной культуры. Однако до недавнего времени такие предложения оставались на уровне общих рассуждений без детально проработанного механизма. Новая работа демонстрирует, что при достаточно тщательном анализе ядерных и плазменных процессов можно выйти за рамки этих ограничений и предложить реалистичный сценарий генерации аксионов в лабораторных условиях.

Значение этого подхода выходит далеко за пределы одной гипотезы. Если аксионы или родственные им частицы действительно будут обнаружены в экспериментах, это станет прорывом в физике элементарных частиц и космологии, связав теорию Большого взрыва, тёмную материю и земные лабораторные установки в единую научную картину. Даже в случае отрицательного результата такие исследования позволяют уточнить параметры моделей тёмной материи и сузить пространство возможных теорий.

Таким образом, новое теоретическое исследование показывает, что путь к пониманию скрытой материи Вселенной может пролегать не только через космические телескопы и подземные детекторы, но и через технологии будущей энергетики. Термоядерная физика, изначально ориентированная на решение энергетических задач, неожиданно оказывается потенциальным инструментом для проверки фундаментальных идей о структуре и происхождении космоса.

Ссылка: «Поиск экзотических скалярных величин в термоядерных реакторах»
DOI: [10.1007/JHEP10\(2025\)215](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2025)215).