

Ядерные часы на основе тория-229: новый инструмент для поиска тёмной материи



Дата публикации: 12.08.2025

Почти столетие физики по всему миру пытаются разгадать загадку тёмной материи — невидимой субстанции, которая, по современным оценкам, составляет около 80% массы Вселенной. Несмотря на десятки экспериментов, попытки зафиксировать её в лабораторных условиях пока не увенчались успехом. Тёмная материя не взаимодействует со светом, поэтому напрямую её «увидеть» невозможно, однако она оказывает тонкое гравитационное воздействие на звёзды, галактики и космические структуры. Главная трудность заключается в том, что это воздействие настолько мало, что существующие методы измерений его не улавливают.

Сейчас исследователи предлагают использовать принципиально новый инструмент — ядерные часы, работа которых основана не на колебаниях электронов, как в атомных часах, а на переходах атомных ядер между квантовыми состояниями. Такой подход может обеспечить невероятную точность — вплоть до регистрации изменений, в 10 триллионов раз более слабых, чем гравитация. В качестве основы выбран радиоактивный изотоп

торий-229, обладающий уникальной резонансной частотой. В отличие от большинства ядер, требующих мощного излучения для возбуждения, его можно «переводить» между энергетическими состояниями при помощи сравнительно слабого ультрафиолетового лазера. Это свойство делает торий-229 особенно перспективным для создания сверхточных ядерных часов.

Достижение высокой точности требует предельно точного измерения резонансной частоты тория-229. Этот параметр определяется спектром поглощения — зависимостью между частотой излучения и поглощаемой энергией ядра. На протяжении почти пятидесяти лет учёным не удавалось достичь необходимой точности, но недавние работы групп из Германии и США показали прогресс. Новые результаты приблизили исследователей к тому, чтобы использовать эти измерения не только для конструирования часов, но и для поиска тёмной материи.

Теоретические расчёты показывают, что волновая природа тёмной материи способна слегка изменять массу ядер и вызывать малозаметные сдвиги в спектре поглощения. Если удастся фиксировать эти сдвиги, то можно будет определить как частоту колебаний, так и величину отклонений, что даст возможность оценить массу частиц тёмной материи и проверить разные теоретические модели. Особенность подхода в том, что он открывает область чувствительности, в которой ещё никто не вёл поиск: регистрировать можно будет эффекты, в сто миллионов раз слабее гравитационных.

Перспективы технологии выходят далеко за рамки космологии. Ядерные часы потенциально могут использоваться в спутниковой и наземной навигации, системах связи, синхронизации энергосетей, фундаментальных экспериментах в физике и даже в тестировании теорий, выходящих за пределы Стандартной модели. Главное их преимущество перед атомными часами заключается в низкой чувствительности ядерных переходов к электрическим помехам, что делает измерения стабильнее и надёжнее.

Если проект удастся довести до стадии полноценных часов, учёные получат инструмент с разрешением в сто тысяч раз выше, чем у нынешних методов поиска тёмной материи. Это создаст возможность зарегистрировать мельчайшие взаимодействия, которые раньше были недоступны, и, возможно, впервые в истории напрямую зафиксировать влияние этой загадочной субстанции на обычную материю. Такой прорыв мог бы не только пролить свет на природу тёмной материи, но и изменить представления о фундаментальных силах в природе.

Ссылка: «Поиск тёмной материи с использованием формы ядерной линии 229»

Th, полученной с помощью лазерной спектроскопии» DOI:
[10.1103/PhysRevX.15.021055](https://doi.org/10.1103/PhysRevX.15.021055).