

Может ли тёмная материя рождаться из горизонтов Вселенной? Две новые теории объясняют её загадочную природу



Дата публикации: 05.08.2025

Темная материя остаётся одним из главных нерешённых вопросов современной физики. Несмотря на многочисленные наблюдательные подтверждения её существования — от кривых вращения галактик до крупномасштабной структуры Вселенной и анизотропии реликтового излучения — её истинная природа и происхождение до сих пор неизвестны. Физики продолжают разрабатывать модели, объясняющие, из чего может состоять эта невидимая субстанция, составляющая около 80% всей материи во Вселенной. Среди таких попыток — новые идеи, предложенные теоретиком Стефано Профумо из Калифорнийского университета в Санта-Крузе.

В двух недавних статьях, опубликованных в журнале *Physical Review D*, Профумо предлагает альтернативные сценарии рождения тёмной материи, в которых не требуется существование экзотических частиц, напрямую взаимодействующих с обычной материей. Первый из них рассматривает так называемый «скрытый сектор» — некую параллельную версию нашего мира, где

действуют те же фундаментальные законы, но с собственным набором частиц и сил. Эта концепция вдохновлена квантовой хромодинамикой — теорией, описывающей сильное взаимодействие, объединяющее кварки в адроны. В скрытом секторе, по аналогии, могут существовать свои аналоги кварков и глюонов — тёмные кварки и тёмные глюоны, которые связываются в тяжёлые составные частицы, называемые тёмными барионами.

При определённых параметрах ранней Вселенной — высокой плотности и температуре — такие тёмные барионы могли коллапсировать в стабильные, сверхмассивные остатки, похожие на миниатюрные чёрные дыры. Их масса могла быть лишь в несколько раз выше планковской, но их количество, возникшее в первичной Вселенной, было бы достаточным для объяснения всей наблюдаемой тёмной материи. Такие объекты не взаимодействовали бы с электромагнитным излучением и не поддавались бы обнаружению в стандартных детекторах, взаимодействуя лишь через гравитацию. Это объясняет, почему тёмная материя ускользает от лабораторных экспериментов, но оказывает влияние на масштабные структуры Вселенной.

Второй сценарий фокусируется на другой грани космологии — квантовых флуктуациях на границе расширяющегося пространства-времени. Профумо рассматривает гипотезу, что темная материя могла возникнуть в период ускоренного расширения Вселенной, последовавшего за инфляцией, в результате чисто гравитационного механизма рождения частиц. Этот подход использует принципы квантовой теории поля в искривлённом пространстве, аналогично тому, как описывается излучение Хокинга у горизонта событий чёрной дыры.

Если в ранней Вселенной существовал фазовый переход с временным ускорением расширения — не таким экстремальным, как инфляция, но выходящим за рамки классического расширения под действием материи или излучения — то сам горизонт этого расширения мог порождать частицы из вакуума. Профумо показал, что в зависимости от продолжительности и температурных характеристик этой фазы могут возникать тёмные частицы в широком диапазоне масс. Такой механизм не требует конкретного вида взаимодействий между тёмной и обычной материей: достаточно лишь, чтобы частицы были стабильными и подчинялись гравитационным законам.

Обе теории интересны тем, что не опираются на стандартные сценарии — такие как WIMP-модели (слабо взаимодействующие массивные частицы), которые на протяжении десятилетий были основой поисков тёмной материи, но до сих пор не дали подтверждения в экспериментах. Предложенные Профумо гипотезы сохраняют соответствие базовым принципам физики — будь то калибровочные теории $SU(N)$, лежащие в основе квантовой хромодинамики, или

формализм квантовых полей в динамической геометрии пространства-времени.

Такой подход показывает важность синтеза между теоретической физикой элементарных частиц и космологией. Вместо того чтобы искать «новые» частицы с помощью всё более чувствительных детекторов, возможно, следует пересмотреть сам подход к происхождению тёмной материи: она могла не взаимодействовать вовсе с привычным веществом, а быть гравитационно обусловленным проявлением самой структуры Вселенной на самых ранних этапах её существования.

Предложенные сценарии можно в перспективе проверить косвенно — через точные измерения космического микроволнового фона, структуры галактических скоплений, гравитационных волн или поиска примитивных чёрных дыр. Теории, подобные тем, что выдвинул Профумо, открывают новое направление в исследовании Вселенной: от экспериментов с частицами — к попытке понять геометрию и гравитационную динамику самых ранних фаз космоса.

Таким образом, тёмная материя может оказаться не таинственной частицей, спрятанной в недрах ускорителей, а продуктом глубоких, но уже известных физических механизмов — от калибровочных симметрий до горизонтов расширения Вселенной. Эта точка зрения смещает фокус с поиска отдельных «невидимых» объектов к изучению фундаментальной природы самого пространства и времени.

Ссылка: «Тёмная материя из квазиде-ситтеровских горизонтов» [DOI: 10.1103/vmw2-4k77](https://doi.org/10.1103/vmw2-4k77).