

Космические струны: следы первых мгновений после Большого взрыва

Дата публикации: 12.06.2026

Среди самых необычных объектов современной теоретической физики особое место занимают космические струны — гипотетические одномерные дефекты пространства-времени, которые могли возникнуть в первые доли секунды после Большого взрыва. Если они действительно существуют, то являются своеобразными окаменелостями ранней Вселенной, сохранившими информацию о процессах, происходивших при колоссальных энергиях, недостижимых для любых современных ускорителей.

Чтобы понять происхождение космических струн, физики часто используют аналогию с обычными фазовыми переходами. Когда вода замерзает, в формирующейся кристаллической решетке льда появляются трещины, границы между кристаллами и другие дефекты. Подобный процесс, по мнению ученых, мог происходить и в молодой Вселенной. После Большого взрыва температура была настолько высокой, что фундаментальные взаимодействия могли представлять собой единое целое. По мере расширения и остывания космоса происходили фазовые переходы, во время которых единое поле разделялось на отдельные взаимодействия. Именно тогда могли возникнуть устойчивые топологические дефекты.

Теория допускает существование дефектов разных размерностей. Точечными объектами считаются магнитные монополи, одномерными — космические струны, двумерными — доменные стенки. Каждая из этих структур могла бы стать свидетельством физических процессов, происходивших в ранней Вселенной.

Космические струны особенно интересны тем, что они сочетают почти невероятную тонкость с огромной массой. Согласно большинству моделей, их толщина близка к планковской длине — около 10^{-35} метра. Это настолько мало, что струну невозможно представить в привычных масштабах. Однако её плотность должна быть колоссальной. Даже небольшой участок такой структуры может обладать массой, сопоставимой с массой крупной планеты. Некоторые струны могли образовывать замкнутые петли, другие — растягиваться на миллиарды световых лет, проходя через значительную часть наблюдаемой Вселенной.

В отличие от обычных объектов космические струны не столько притягивают окружающее вещество, сколько изменяют геометрию пространства вокруг себя.

Теоретические расчеты показывают, что пространство-время возле струны приобретает конусообразную форму. Для наглядности физики предлагают представить лист бумаги, из которого вырезан сектор, а затем края снова соединены. Лист остается плоским, но часть угла исчезает. Аналогичный эффект должен возникать и вокруг космической струны.

Из такой геометрии следует необычное наблюдательное следствие. Если между Землей и далеким квазаром проходит космическая струна, наблюдатель может увидеть сразу два одинаковых изображения одного и того же объекта. В отличие от обычного гравитационного линзирования галактиками такие изображения должны обладать очень специфическими характеристиками.

Поиск подобных двойных изображений ведется уже несколько десятилетий. Астрономы обнаружили множество пар квазаров и других удаленных источников, однако все надежно подтвержденные случаи объясняются классическим гравитационным линзированием массивными галактиками или скоплениями галактик. На сегодняшний день ни один объект не признан достоверным доказательством существования космической струны.

Другой путь поиска связан с гравитационными волнами. Если космические струны существуют, их петли должны непрерывно колебаться, терять энергию и испускать характерное гравитационно-волновое излучение. Такой сигнал отличается от всплесков, возникающих при слиянии черных дыр или нейтронных звезд. Вместо кратковременного события формируется особый фон, состоящий из огромного числа источников.

Именно поэтому большое внимание сегодня уделяется пульсарным тайминговым решеткам. Эти проекты используют десятки миллисекундных пульсаров, разбросанных по всей Галактике, как гигантскую естественную сеть космических часов. Малейшие искажения пространства-времени способны изменить время прихода радиоимпульсов на Землю.

В 2025–2026 годах международные коллаборации, работающие с пульсарными тайминговыми решетками, сообщили о подтверждении существования низкочастотного гравитационно-волнового фона. Однако его происхождение пока остается предметом научных дискуссий. Наиболее вероятным источником считаются пары сверхмассивных черных дыр в центрах галактик, но часть исследователей не исключает вклад космических струн.

Решающую роль в будущем может сыграть проект LISA — лазерная интерферометрическая космическая антенна. Запуск обсерватории запланирован на 2030-е годы. Три космических аппарата будут образовывать гигантский треугольник длиной миллионы километров и регистрировать

гравитационные волны в диапазоне частот, недоступном наземным детекторам. Именно в этом диапазоне ожидаются сигналы от петель космических струн. Чувствительность LISA должна позволить отличить их от других космических источников.

Несмотря на название, космические струны не обязательно связаны с теорией струн. Исторически термин появился раньше широкого распространения современных струнных моделей. Однако позже между двумя направлениями действительно возникли точки соприкосновения. Некоторые версии теории струн допускают существование фундаментальных струн, которые после расширения ранней Вселенной могли вырасти до астрономических размеров и вести себя как космические струны. Кроме того, ряд суперсимметричных моделей предсказывает появление подобных объектов как естественное следствие нарушения фундаментальных симметрий.

Для физиков космические струны представляют особую ценность потому, что способны соединить космологию, квантовую теорию поля, гравитацию и физику элементарных частиц в единую экспериментально проверяемую картину. Они являются редким примером гипотезы, которая возникла из теоретических рассуждений о ранней Вселенной, но при этом допускает прямую проверку наблюдениями.

Сегодня космические струны остаются гипотетическими объектами. Их существование пока не подтверждено, но и не исключено. Новые данные пульсарных тайминговых решеток и будущие наблюдения космической обсерватории LISA способны либо обнаружить характерные сигналы этих древнейших структур, либо настолько сузить допустимые параметры моделей, что существование космических струн станет крайне маловероятным. В любом случае проверка этой идеи уже стала одной из важнейших задач гравитационно-волновой астрономии ближайшего десятилетия.