

Темные звезды могли оставить след в гравитационных волнах современной Вселенной



Дата публикации: 20.08.2026

Слабый гравитационный гул, пронизывающий современную Вселенную, может оказаться своеобразным эхом процессов, происходивших более 13 миллиардов лет назад. Новое теоретическое исследование связывает наногерцовый фон гравитационных волн с одной из самых необычных гипотез ранней космологии — существованием сверхмассивных темных звезд, которые могли стать зародышами первых гигантских черных дыр.

Речь идет не об отдельных мощных гравитационных волнах, возникающих при столкновении сравнительно небольших черных дыр и регистрируемых наземными детекторами. Ученых интересует гораздо более медленный фоновый сигнал. Его колебания происходят на масштабах месяцев и лет, поэтому обнаружить их обычным интерферометром невозможно.

Вместо этого астрономы используют пульсары — быстро вращающиеся нейтронные звезды, посылающие к Земле чрезвычайно стабильные радиоимпульсы. Они работают как природные космические часы. Проходящая

между пульсаром и Землей гравитационная волна слегка изменяет геометрию пространства-времени и, соответственно, время прихода импульса.

Если десятилетиями наблюдать множество пульсаров, можно искать согласованные крошечные отклонения в их сигналах. Такие системы называются массивами тайминга пульсаров, или РТА. Несколько международных проектов уже обнаружили признаки общего наногерцового гравитационно-волнового фона.

Наиболее естественным источником этого космического гула считается огромное количество двойных сверхмассивных черных дыр. Когда галактики сталкиваются и объединяются, находящиеся в их центрах черные дыры постепенно сближаются и могут образовывать двойную систему. Вращаясь друг вокруг друга, они создают гравитационные волны. Сигналы множества таких систем складываются в общий фон.

Особенно важны гиганты с суммарной массой порядка миллиарда солнечных масс и выше. Но здесь возникает фундаментальная проблема: чтобы получить настолько огромные черные дыры, необходимо объяснить происхождение их первоначальных зародышей.

Наблюдения далекой Вселенной показывают, что массивные черные дыры существовали уже спустя сравнительно короткое время после Большого взрыва. Это означает, что они либо росли чрезвычайно быстро, либо начинали развитие с гораздо более массивных зародышей, чем остатки обычных звезд.

Исследователи Университета Колгейт рассмотрели два возможных сценария. Первый предполагает образование массивных черных дыр в результате прямого коллапса больших газовых облаков. Второй значительно экзотичнее: первоначальные черные дыры могли остаться после гибели сверхмассивных темных звезд.

Темные звезды пока существуют только как гипотеза. Несмотря на название, они могли быть огромными и достаточно яркими. Их принципиальное отличие от обычных звезд заключалось бы в источнике энергии. Вместо термоядерных реакций существенную роль в их нагреве могла играть темная материя.

В одном из сценариев частицы темной материи типа WIMP могли сталкиваться и аннигилировать внутри таких объектов, выделяя энергию. Дополнительный нагрев позволял бы звезде оставаться относительно холодной и очень большой, продолжая поглощать окружающее вещество. Теоретически ее масса могла достигать сотен тысяч или даже миллиона масс Солнца.

После коллапса такой гигант сразу оставлял бы чрезвычайно массивную

черную дыру. Это частично решает проблему времени: вместо небольшого звездного остатка, которому необходимо очень быстро набрать огромную массу, ранняя Вселенная сразу получает крупный зародыш будущей сверхмассивной черной дыры.

Авторы новой работы проследили теоретическую судьбу подобных объектов. Они моделировали их рост вместе с галактиками, образование двойных систем, частоту слияний и возникающий в результате гравитационно-волновой фон.

Расчеты показали, что потомки сверхмассивных темных звезд при определенной начальной численности способны давать значительную и даже доминирующую часть сигнала, наблюдаемого массивами пульсаров. Рассмотренная популяция черных дыр прямого коллапса оказалась значительно более редкой и создавала гораздо меньший фон.

Это превращает РТА в неожиданную машину времени. Сами гравитационные волны могут испускаться при слияниях черных дыр значительно позже эпохи первых звезд, однако количество и масса этих черных дыр зависят от того, сколько массивных зародышей появилось на заре Вселенной.

Таким образом, современные наблюдения позволяют устанавливать ограничения на объекты, существовавшие при красном смещении выше 10. Если первоначальных массивных зародышей было слишком много, их потомки создали бы больше двойных сверхмассивных черных дыр и гравитационно-волновой фон оказался бы сильнее наблюдаемого. Если их было мало, необходимо искать дополнительные механизмы быстрого образования и роста черных дыр.

Однако исследование пока не является доказательством существования темных звезд. Это теоретическая модель, демонстрирующая, что такой сценарий совместим с наблюдениями при определенных параметрах. Сам гравитационно-волновой фон также может зависеть от множества особенностей эволюции галактик и черных дыр.

По мере накопления данных массивами тайминга пульсаров точность измерений будет увеличиваться. Одновременно космические телескопы продолжают находить все более ранние галактики и активные черные дыры. Совместный анализ этих наблюдений может помочь восстановить происхождение первых космических гигантов.

Ссылка: «Реконструкция измерений РТА посредством раннего зарождения сверхмассивных черных дыр» [DOI: 10.1103/hvfd-8fkr](https://doi.org/10.1103/hvfd-8fkr).