

Космические часы раскрывают рябь Вселенной: как пульсары помогают увидеть гравитационные волны наногерцового диапазона

Дата публикации: 18.10.2025

Во Вселенной, где расстояния измеряются миллиардами световых лет, а время — эпохами галактик, существуют необычайно точные природные часы — пульсары. Эти вращающиеся нейтронные звёзды посылают регулярные импульсы радиоволн, которые достигают Земли с фантастической стабильностью. Благодаря этой стабильности астрономы могут использовать пульсары не только для изучения звёзд, но и как инструмент для измерения тончайших искажений самого пространства-времени.

Недавние исследования показали, что эти космические маяки могут фиксировать слабейшие гравитационные колебания — волны, растягивающие и сжимающие ткань Вселенной с частотой всего несколько наносекунд в год. Международные коллаборации, такие как NANOGrav в США и Европейская сеть синхронизации пульсаров, в 2023 году объявили о первых статистически достоверных признаках таких наногерцовых гравитационных волн. Эти сигналы могли быть как результатом слияний сверхмассивных чёрных дыр в далёких галактиках, так и отголоском процессов, происходивших в первые мгновения после Большого взрыва.

Разобраться, какой из сценариев ближе к истине, оказалось сложной задачей. Теоретические расчёты показывали, что сигнатуры обоих источников — космической инфляции и двойных чёрных дыр — могут быть схожими. Чтобы отделить одно от другого, физик-теоретик Хидеки Асада и исследователь Шун Ямамото из Университета Хироаки предложили оригинальный способ. Они показали, что если вблизи нас существует пара сверхмассивных чёрных дыр, вращающихся почти с одинаковой частотой, их гравитационные волны могут создавать характерный эффект биений — ритмические усиления и ослабления сигнала, подобные акустическим интерференциям.

Эти биения, едва заметные в потоке радиосигналов от пульсаров, становятся своеобразным отпечатком присутствия конкретного источника. Если астрономы смогут зарегистрировать такие пульсации, это будет означать, что наблюдаемые гравитационные волны исходят не из суммарного стохастического фона ранней Вселенной, а от определённой двойной системы сверхмассивных чёрных дыр.

Методика основывается на высокоточных измерениях временных задержек радиосигналов. Когда гравитационная волна проходит между Землёй и

пульсаром, она изменяет расстояние между ними на доли миллиметра, но эти микроскопические изменения накапливаются, создавая корреляции в данных сразу по нескольким пульсарам. Асада и Ямамото показали, что в присутствии биений эти корреляции будут иметь специфическую периодичность, отличающуюся от фонового шума.

Наблюдения уже указывают на то, что гравитационные волны наногерцового диапазона действительно присутствуют. Их периоды составляют от нескольких месяцев до лет, а длины волн достигают нескольких световых лет. Чтобы «услышать» их, астрономы синхронизируют данные десятков пульсаров, расположенных в разных частях неба. Это создаёт гигантский детектор — пульсарный тайминг-массив, чувствительный к рябям космоса, недоступным даже для обсерваторий вроде LIGO или Virgo, работающих на гораздо более высоких частотах.

Пока обнаруженные сигналы не достигли знаменитого уровня достоверности 5 сигм, который физики считают доказательством открытия. Тем не менее их статистическая надёжность уже достаточна, чтобы говорить о «весомом свидетельстве» существования сверхнизкочастотных гравитационных волн. Следующие годы обещают стать решающими: новые данные, накопленные пульсарными обсерваториями по всему миру, позволят подтвердить или опровергнуть их существование и раскрыть природу источников.

Если гипотеза Асоды и Ямамото подтвердится, человечество впервые получит возможность различать отдельные «нотки» космической симфонии — сигналы, порождаемые вращающимися парами сверхмассивных чёрных дыр, чья орбитальная танцевальная энергия растягивает пространство-время на миллиарды километров. А если же окажется, что источником является инфляция ранней Вселенной, это станет прямым свидетельством существования квантовых флуктуаций, оставивших отпечаток в самой структуре космоса.

В любом случае, эти исследования открывают новую эру космической гравитационной астрономии. Пульсары, словно древние часы, отмеряющие дыхание Вселенной, дают человечеству шанс услышать невидимую музыку мироздания — гул, идущий из самых глубин пространства и времени.

Ссылка: «Можем ли мы услышать биения с помощью синхронизирующих массивов пульсаров?» DOI: [10.1088/1475-7516/2025/10/058](https://doi.org/10.1088/1475-7516/2025/10/058).