

Мерцание пульсара как инструмент картирования невидимой структуры космоса



Дата публикации: 12.01.2026

Пульсары давно считаются одними из самых надёжных «маяков» во Вселенной, однако новые исследования показывают, что они полезны не только как источники стабильных радиоимпульсов, но и как тонкие зонды, позволяющие изучать само космическое пространство. Наблюдая за мерцанием радиосигналов одного пульсара в течение почти года, учёные смогли проследить, как межзвёздная среда постепенно изменяет форму, задержку и структуру приходящих на Землю импульсов, раскрывая скрытую динамику газа и плазмы между звёздами.

В центре исследования оказался пульсар PSR J0332+5434, также известный как B0329+54. Это один из наиболее ярких и хорошо изученных радиопульсаров, расположенный сравнительно недалеко по астрономическим меркам. Команда под руководством Институт SETI в течение примерно десяти месяцев почти ежедневно наблюдала за его сигналами с помощью Allen Telescope Array, работая в широком диапазоне радиочастот от 900 до 1956 МГц. Такой длительный и плотный мониторинг позволил увидеть не просто случайные

колебания, а медленно эволюционирующие закономерности сцинтилляции.

Пульсары представляют особую ценность для астрономии благодаря своей исключительной регулярности. Они являются сверхплотными остатками массивных звёзд, переживших взрыв сверхновой, и вращаются с огромной скоростью, испуская узконаправленные пучки радиоволн. Каждый импульс приходит с почти идеальной периодичностью, что делает пульсары космическими часами, чувствительными к малейшим искажениям на пути сигнала. Именно поэтому их используют для исследований гравитационных волн, динамики галактики и структуры межзвёздной среды.

Однако путь радиосигнала от пульсара к Земле далёк от идеального вакуума. Межзвёздное пространство заполнено разреженным газом и свободными электронами, которые рассеивают радиоволны и создают эффект, напоминающий мерцание звёзд в атмосфере Земли. В радиодиапазоне это проявляется как сцинтилляция — появление ярких и тусклых «пятен» сигнала на разных частотах и в разные моменты времени. Эти узоры постоянно меняются под влиянием движения пульсара, дрейфа межзвёздного газа и орбитального движения Земли.

Сцинтилляция оказывается не просто помехой, а ценным источником информации. Более интенсивное мерцание связано с дополнительными временными задержками прихода импульсов, иногда достигающими всего десятков наносекунд, но даже такие микроскопические сдвиги имеют значение для высокоточной астрономии. Отслеживая изменения сцинтилляции, исследователи смогли построить поправки к времени прихода сигналов и тем самым повысить точность синхронизации пульсара.

Особую ценность исследованию придал его долгосрочный характер. В течение около 300 дней учёные регулярно измеряли ширину полосы сцинтилляции и обнаружили, что её интенсивность меняется на временных масштабах от нескольких дней до нескольких месяцев. Помимо краткосрочных колебаний, данные указали на более медленный цикл изменчивости продолжительностью порядка 200 дней. Это свидетельствует о том, что межзвёздная среда не является статичной, а обладает собственной сложной динамикой, которую можно изучать с помощью пульсарных сигналов.

Дополнительным результатом работы стало развитие нового, более устойчивого метода оценки зависимости сцинтилляции от частоты. Использование широкого диапазона Allen Telescope Array позволило уменьшить неопределённости и точнее описать, как мерцание усиливается с ростом радиочастоты. Такие методики важны не только для исследований пульсаров, но и для более широкого круга радионаблюдений.

Полученные результаты имеют значение и для проектов поиска внеземного разума. Для специалистов SETI сцинтилляция служит своеобразным фильтром, помогающим отличать естественные космические сигналы от техногенных радиопомех. Сигналы искусственного происхождения, как правило, не демонстрируют характерных закономерностей мерцания, связанных с прохождением через межзвёздную среду. Поэтому понимание того, как именно пространство искажает естественные источники, повышает надёжность поиска потенциальных техносигнатур.

Allen Telescope Array оказался особенно подходящим инструментом для такого рода исследований благодаря сочетанию широкой полосы пропускания и возможности проводить длительные наблюдательные кампании. Это редкое качество для радиотелескопов, которые часто работают в режиме распределённого времени между множеством проектов. В данном случае именно продолжительность наблюдений позволила выявить скрытые циклы и медленные изменения, которые были бы незаметны в коротких экспериментах.

В более широком контексте работа демонстрирует, что межзвёздное пространство можно изучать не только напрямую, но и косвенно, анализируя, как оно воздействует на проходящие через него сигналы. Пульсары в этом смысле выступают как природные маяки и одновременно как чувствительные датчики среды. По мере накопления подобных данных астрономы смогут создавать всё более детальные карты распределения плазмы в галактике, уточнять модели распространения радиоволн и повышать точность космических измерений.

Таким образом, мягкое мерцание далёкого пульсара оказывается ключом к пониманию невидимой структуры космоса. Оно связывает воедино фундаментальную астрофизику, точное измерение времени, исследования межзвёздной среды и даже поиски внеземных технологий, показывая, насколько богатой информацией могут обладать, на первый взгляд, едва заметные колебания радиосигнала.

Ссылка: «Долгосрочный мониторинг сцинтилляций в пульсаре J0332+5434»
DOI: [10.3847/1538-4357/ae0fff](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ae0fff).