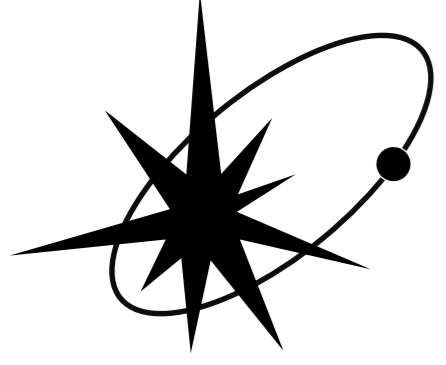


Влияние технических ограничений на возможность разрешения магнитосферы пульсаров путем наблюдения их мерцаний



АКЦ ФИАН

Е. Н. Фадеев, А. С. Андрианов, М. С. Бургин, М. В. Попов,
А. Г. Рудницкий, Т. В. Смирнова, В. А. Согласнов

Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук

Пульсар В1237+25

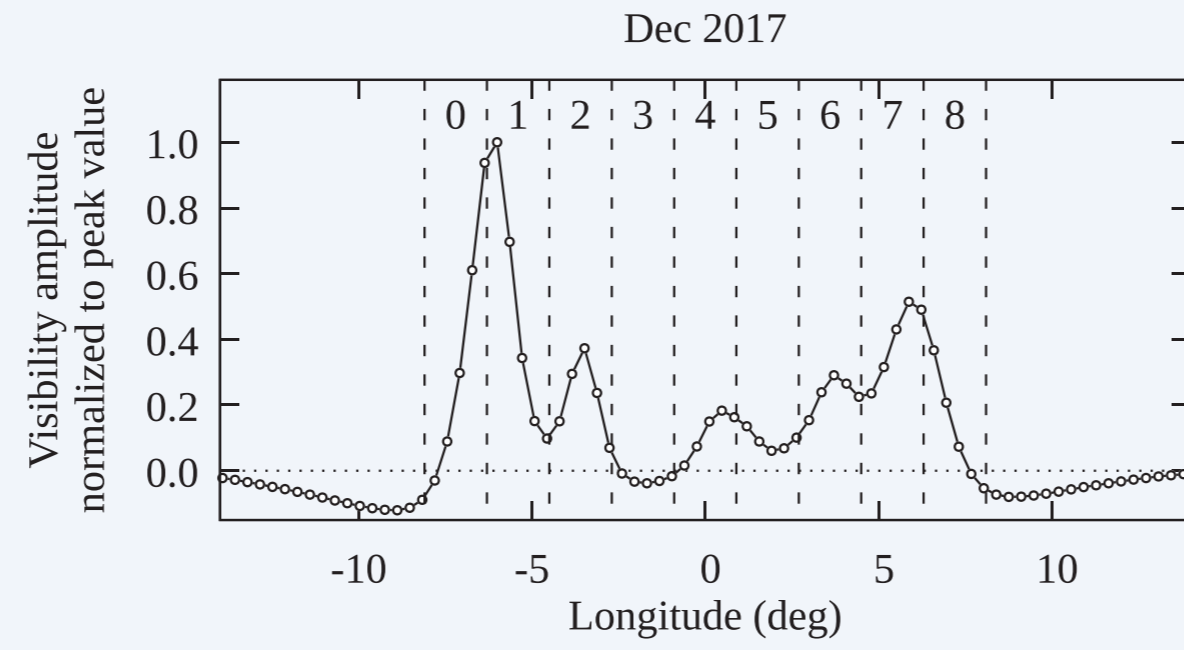
Гал. Долгота 252.5° Гал. Широта 86.5°
• Период 1.38 с
• DM 9.25 пк/см³
• Расстояние 840 пк

Даты наблюдений: 22.12.2017 и 26.02.2018.
Наблюдения проводились в рамках проекта «Радиоастрон». Каждое по 2 часа (6 сканов по 19.5 мин) в двух круговых (RCP и LCP) поляризациях.

Частота наблюдения 316 – 332 МГц.

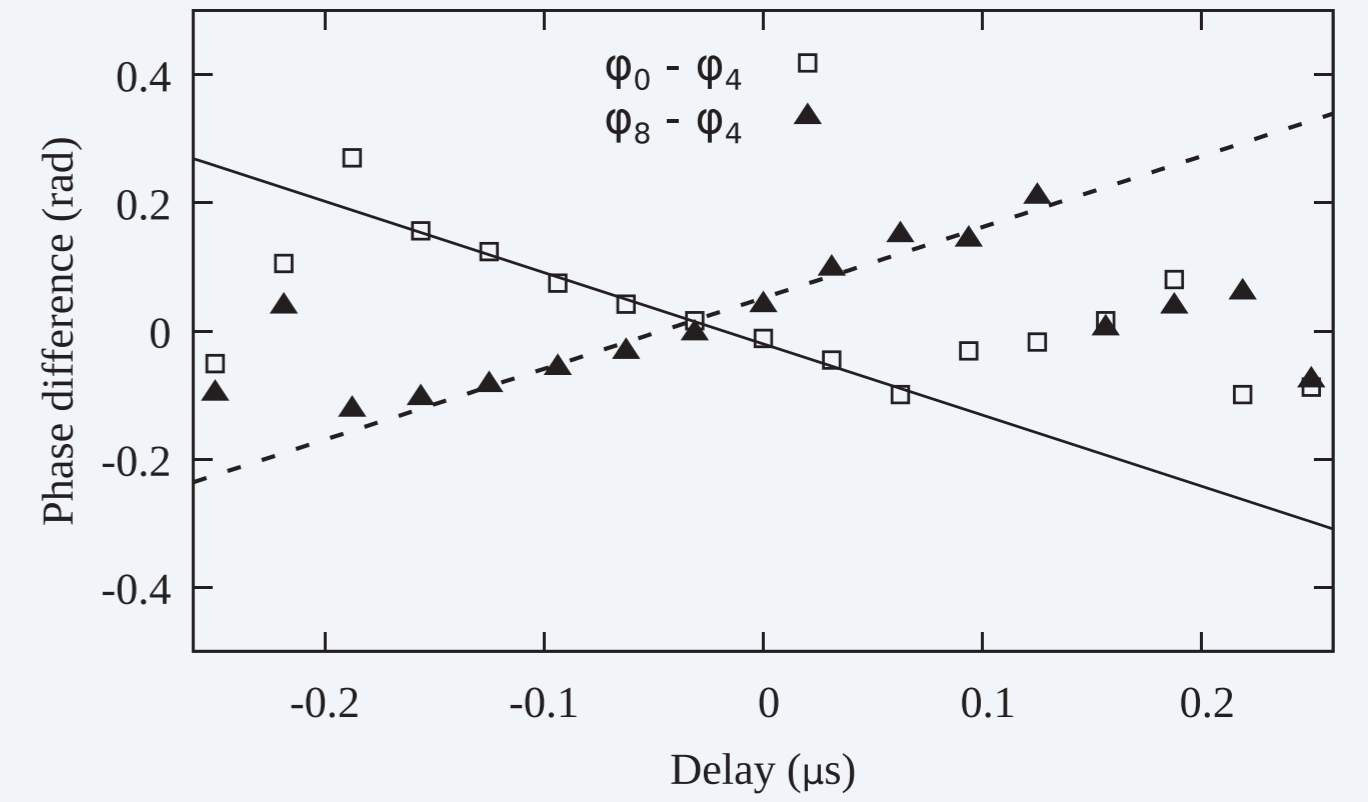
Телескопы: Аресибо (AR), Грин-Бэнк (GB).

Средний профиль пульсара был разделен на 9 субокон. Для каждого субокна вычислили динамический спектр $S_k(f, t)$ (мощность излучения от частоты f и времени t), скорректированный за форму полосы приемника.

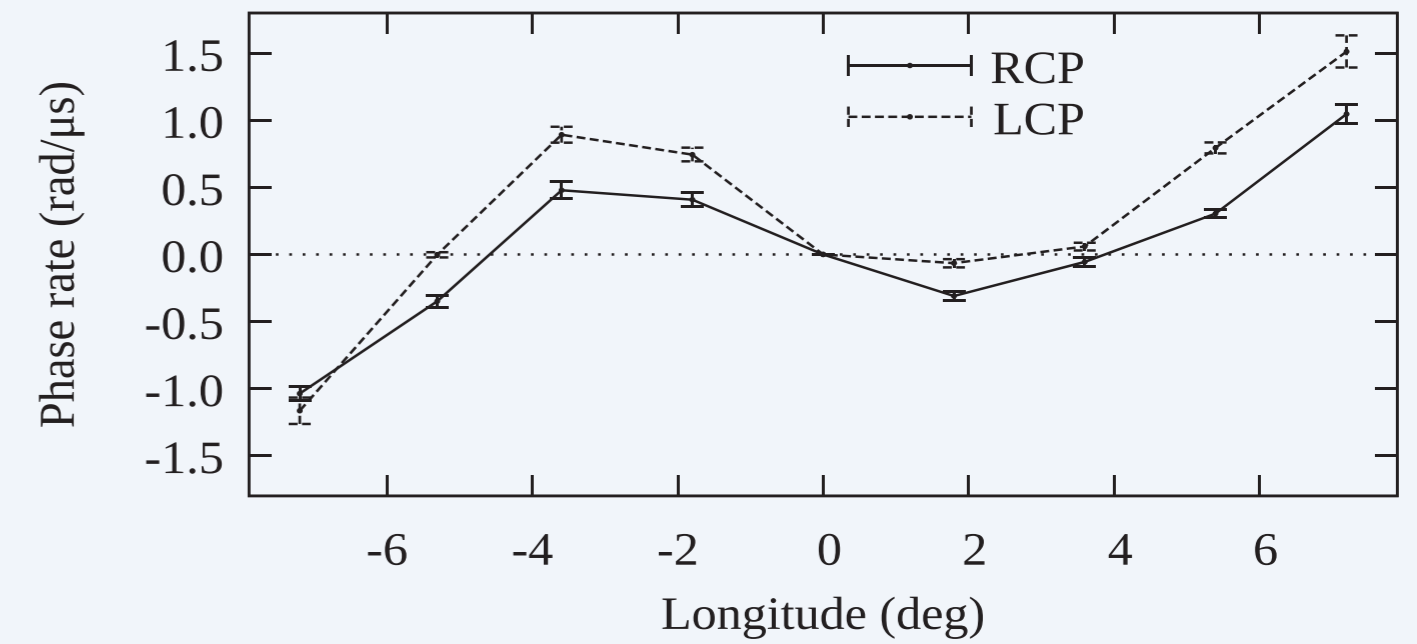


Средний профиль пульсара в RCP 22.12.2017

Для каждого S_k на базе AR-GB была вычислена комплексная функция видности $V_k(\tau) = \mathcal{F}^{-1}[S_k(f)]$, где \mathcal{F}^{-1} – обратное преобразование Фурье. Были использованы только сигналы с $S/N > 5$. Мы определили фазы ϕ_k функций $V_k(\tau)$ и вычислили разности $\phi_k - \phi_4$ как функции τ . На рисунке ниже показаны примеры разностей $\phi_0 - \phi_4$ и $\phi_8 - \phi_4$. Приблизительно на интервалах ± 125 нс эти разности представляют собой прямые линии различных наклонов.

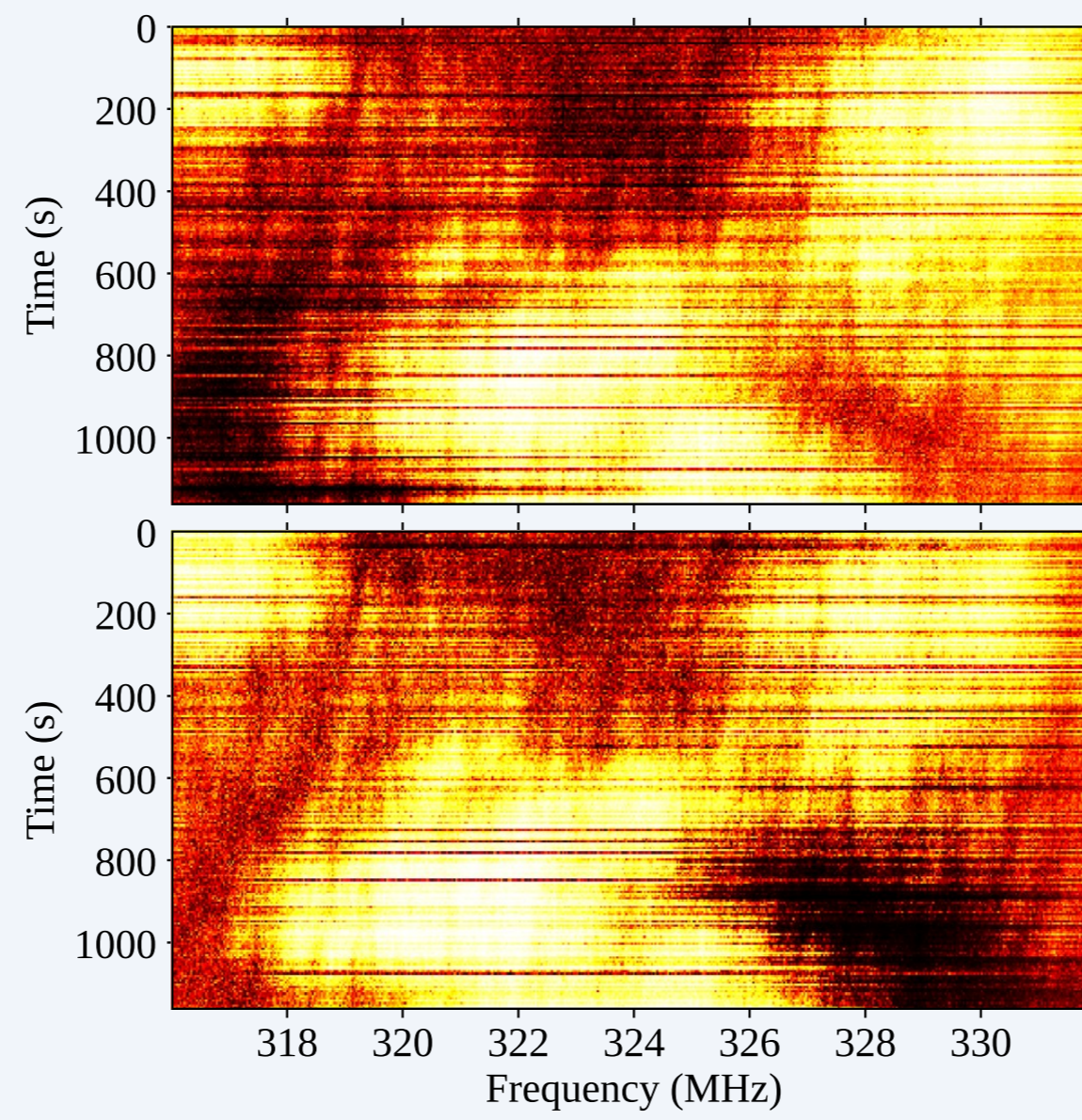
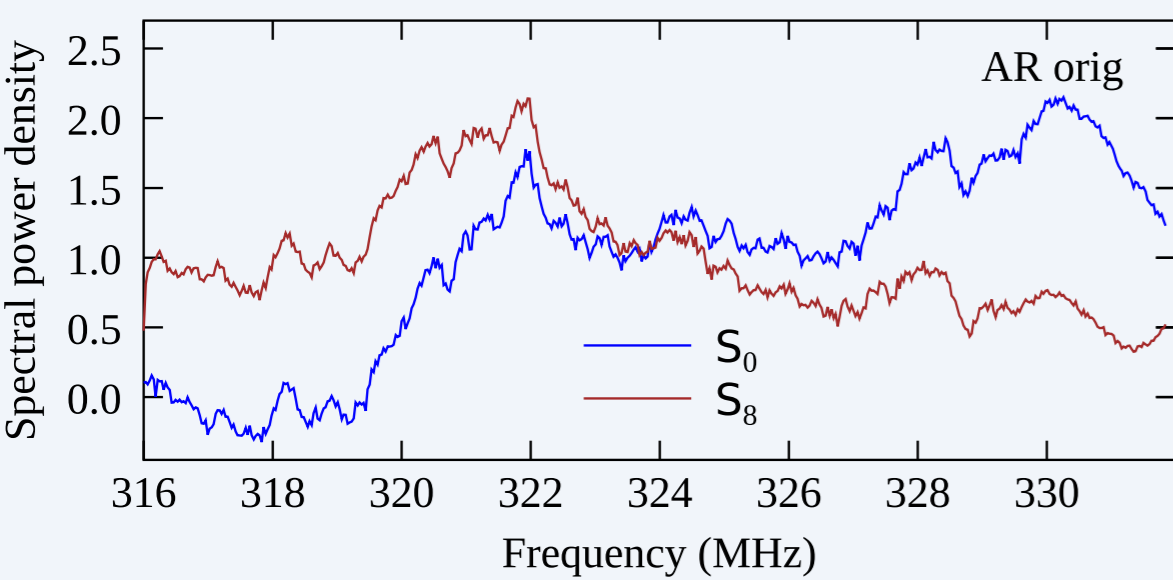


Наклон линейной части разности фаз меняется с длиной импульса как показано на рисунке ниже. Вариации измеренной величины существенно больше ошибок измерения. Подобный результат, полученный в работах [1, 2], интерпретировался авторами как следствие наблюдаемого перемещения области излучения импульсов. Мы покажем, что по крайней мере в нашем случае это не так.



Сравнивая динамические спектры, полученные на одном телескопе в разных окнах, можно обнаружить, что картина мерцаний смещается по частоте. На рисунке справа спектр (AR, LCP, 22.12.2017) в окне 0 (вверху) смещен на ~ 1 МГц в сторону высоких частот по сравнению со спектром в окне 8 (внизу).

На рисунке ниже показаны эти же динамические спектры, усредненные по времени. Повторяя в целом детали, спектр в окне 0 демонстрирует избыток на высоких частотах, тогда как в спектре в окне 8 присутствует избыток на низких частотах.



Причины возникновения искажений

За счет дисперсии импульс этого пульсара на высоких частотах приходит на 36 мс раньше, чем на низких, что составляет около половины длительности самого импульса (65 мс). Импульс пульсара состоит из пяти компонентов, причем первый (ведущий) и последний (замыкающий) наиболее мощные. Таким образом, спектр в окне 0 соответствует моменту, когда сильный ведущий компонент попадает в высокочастотную часть полосы пропускания приемника. По мере прохождения импульса его энергия более равномерно распределяется в полосе приема и искажения в спектре пропадают. Однако на завершающем этапе остается только замыкающий компонент на низких частотах (окно 8), что приводит к противоположным искажениям спектра.

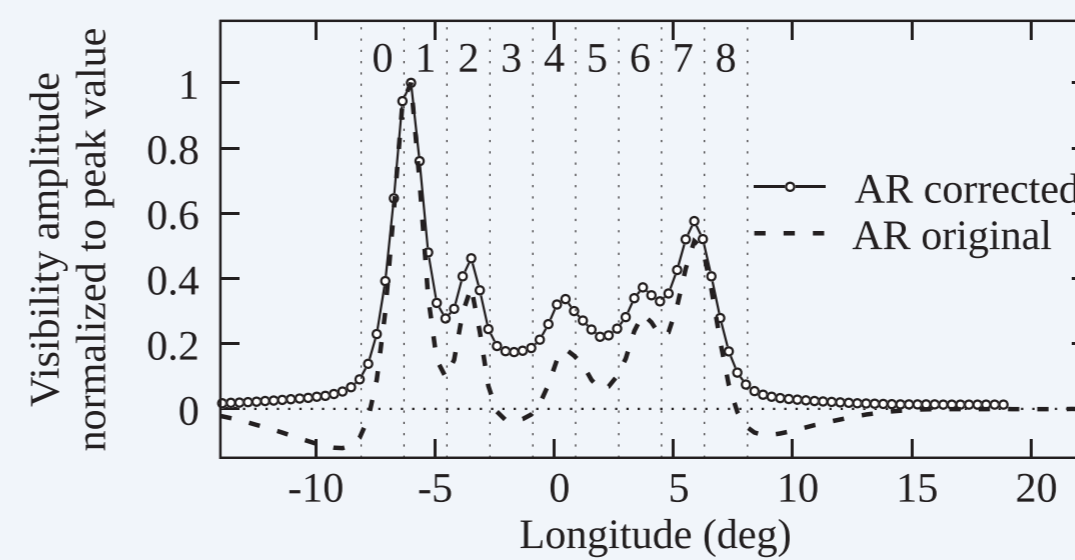
Коррелятор АКЦ разбивает импульс пульсара на большое число временных интервалов, вычисляет в каждом интервале спектр, после чего усредняет все спектры в импульсе [3]. Кроме того применяется алгоритм некогерентной компенсации дисперсии.

При одноканальной оцифровке отрицательным значениям сигнала присваивается значение -1 , положительным $+1$, а дисперсия сигнала $\sigma^2 = 1$. Если в спектре присутствует избыток на высоких частотах, то низкочастотные значения получаются искусственно заниженными. После компенсации дисперсии и усреднения эти недооцененные значения отправятся в более ранние временные интервалы. В среднем профиле пульсара, показанном выше, можно ясно видеть небольшие понижения в начале и в конце. Причина этих понижений заключается в описанном эффекте, но надо учитывать, что он искажает весь средний профиль.

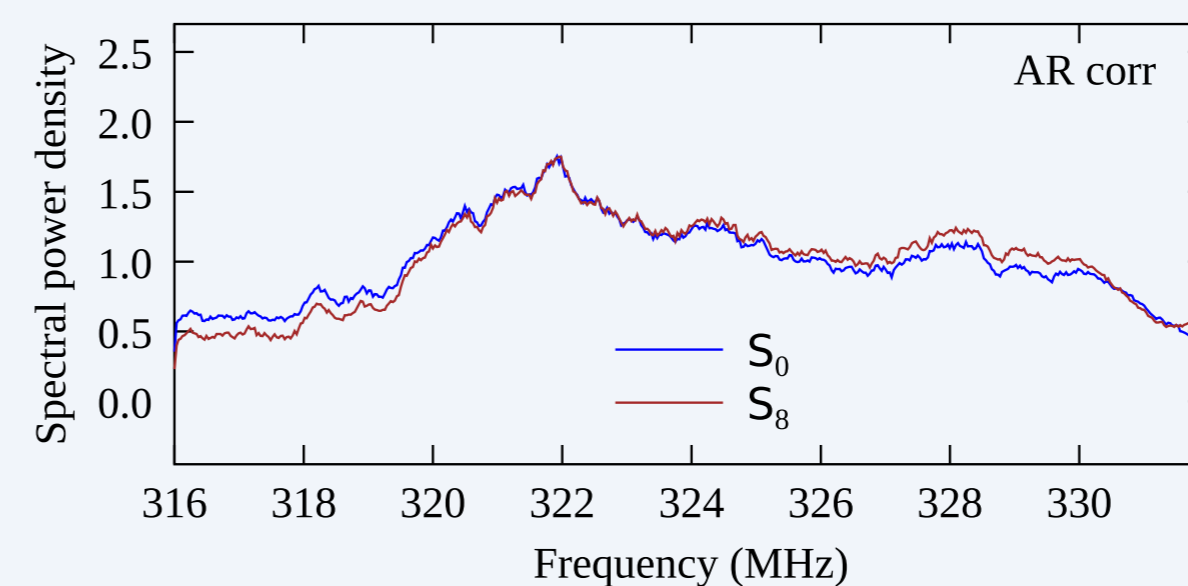
AR и GB использовали двухбитную оцифровку. Для сохранения оптимального усиления в процессе наблюдения обычно используют автоматическую регулировку усиления (ARU), компенсирующую медленные изменения сигнала. Пульсары — быстропеременные источники, поэтому ARU в силу инерции не может работать корректно. С выключенным ARU сильные импульсы приводят к насыщению приемника, который фактически начинает работать как одноканальный цифровой преобразователь, вследствие чего в спектрах появляются рассмотренные выше искажения.

Компенсация эффектов оцифровки и дисперсии

Для исправления проблемы оцифровки мы применили поправки к двухбитной выборке, описанные в [4]. Также мы использовали когерентную компенсацию дисперсии для ее полного устранения. В результате все указанные выше эффекты пропали полностью или значительно уменьшились.



Сравнение средних профилей пульсара до (AR original) и после (AR corrected) введения поправок за ошибки оцифровки и применения когерентной компенсации дисперсии.



Усредненные по времени динамические спектры окон 0 и 8 после введения поправок почти полностью совпадают. Деформация в пользу высоких или низких частотах пропала.

С детальной информацией можно ознакомиться в статье [5].

Выводы

- Природа описанных эффектов, зависящих от длины импульса, полностью инструментальная и заключается в методах оцифровки данных.
- После исправления данных все обсуждаемые эффекты в значительной степени исчезли. Природа оставшихся искажений может быть как естественного, так и аппаратного характера.
- Применение квантования с большим числом уровней способно существенно снизить искажение спектров.
- Наш анализ показал, что наблюдения с целью разрешения магнитосферы пульсаров необходимо критически оценить с точки зрения указанных эффектов.
- Наши результаты не подтверждают вывода о расположении области излучения пульсара на высоте порядка радиуса светового цилиндра и свидетельствуют в пользу ее положения намного ниже.

Литература:

1. Gupta, Y., Bhat, N. D. R., & Rao, A. P. 1999, ApJ, 520, 173
2. Wolszczan, A. & Cordes, J. M. 1987, ApJL, 320, L35
3. Likhachev, S. F. et al. 2017, Journal of Astronomical Instrumentation, v. 6, 3
4. Jenet, F. A. & Anderson, S. B. 1998, PASP, 110, 1467
5. Popov, M. V., Bartel, N., Andrianov, A. S., et al. 2023, ApJ, 954, 126

