



Рентгеновские наблюдения γ -пульсара J0554+3107

А. С. Танашкин А. В. Карпова
Д. А. Зюзин Ю. А. Шибанов А. Ю. Потехин
ФТИ им. А. Ф. Иоффе



Введение

Радио-тихий пульсар J0554+3107 (далее J0554) с периодом 0.47 с был открыт в 2013 году по данным телескопа Fermi (Pletsch et al. 2013 ApJ 779 L11). Пульсар, характеристический возраст которого оценивается в 50 тысяч лет, ассоциирован с остатком вспышки сверхновой G179.0+2.6, находящимся на расстоянии 0.9 кпк (Zhao et al. 2020 ApJ 891 137). Ранее в данных рентгеновской обсерватории Swift нами был обнаружен кандидат в пульсары, совпадающий по положению с Fermi координатами пульсара. Малое число отсчетов не позволяло провести спектральный анализ источника, хотя указывало на возможный тепловой характер его излучения (Zyuzin et al. 2018 MNRAS 476 2177). Это делает J0554 интересным объектом с точки зрения изучения сценариев остывания нейтронных звёзд (НЗ). Поэтому в октябре 2021 года нами были выполнены глубокие (экспозиция 45 тысяч секунд) наблюдения этого источника с использованием обсерватории XMM-Newton. Пульсар детектируется до энергий 2 кэВ, общее количество фотонов в диапазоне 0.2–2 кэВ составляет 1196 штук с апертуры радиусом 22 угловые секунды (из них фон — около 170 штук).

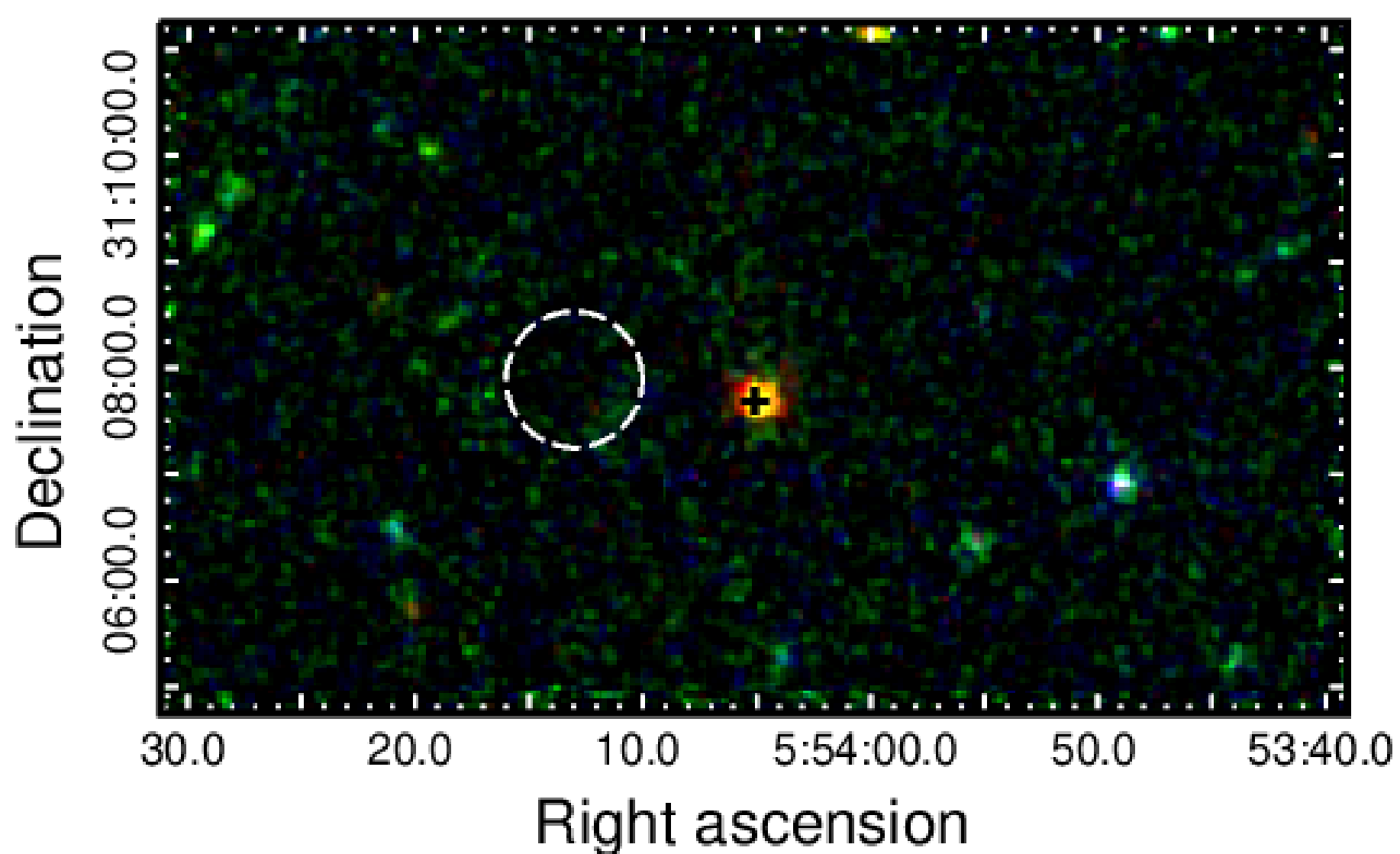


Рис. 1: Поле J0554 в диапазонах 0.2–1 (красный), 1–2 (зелёный) и 2–12 (синий) кэВ. Крестиком отмечено положение пульсара. Белым кружком показана область, используемая для оценки фона. Источник точечный, мягкий, следов остатка вспышки сверхновой не наблюдается. Положение согласуется с данными Fermi в пределах 1σ .

Временной анализ

Z_n^2 -тест, выполненный для различного количества гармоник, указывает на статистически значимый вклад от первых двух на частоте 2.150493(2) Гц, соответствующей периоду пульсара. Величина Z_2^2 пика (Рис. 2) соответствует 4.7σ значимости детектированных пульсаций.

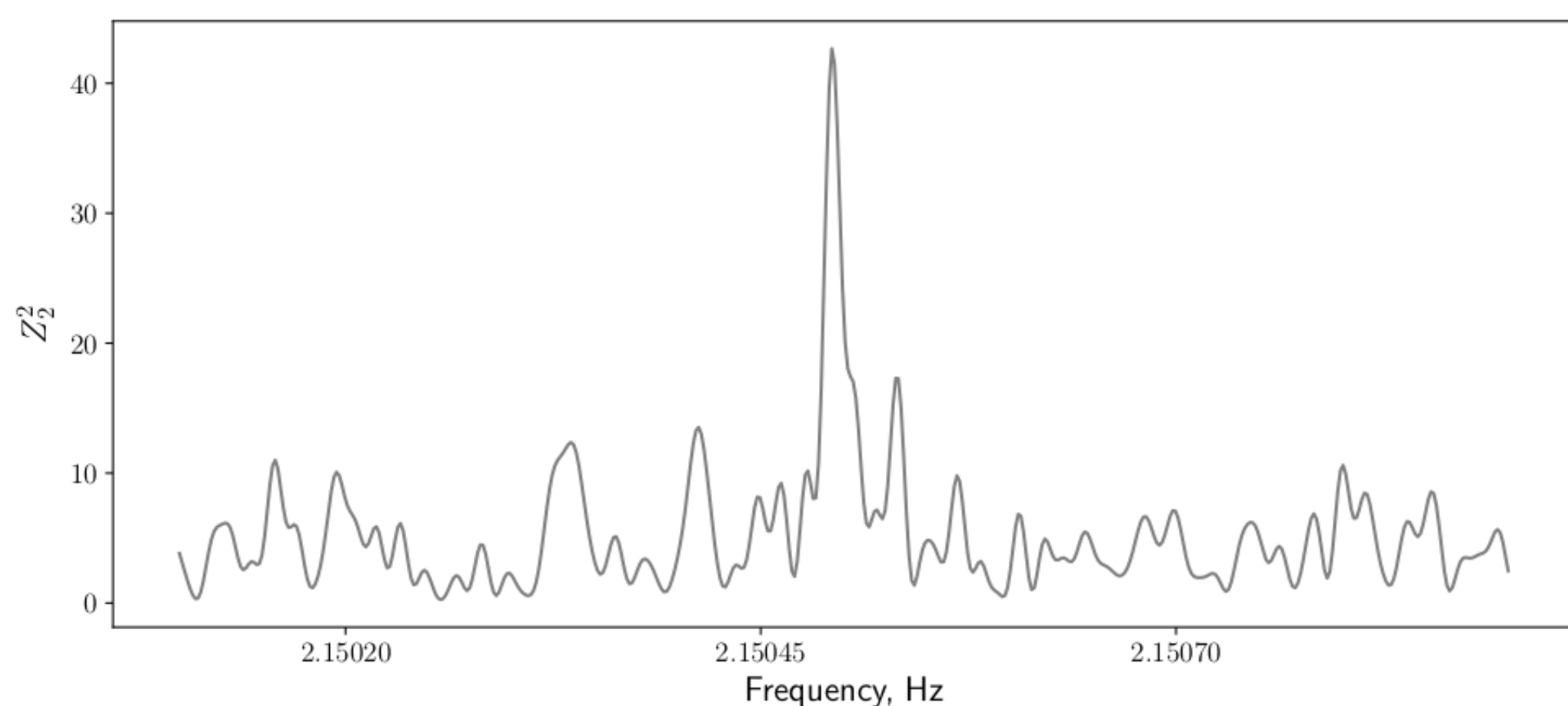


Рис. 2: Результат Z_n^2 -теста для двух гармоник в диапазоне 0.2–2 кэВ.

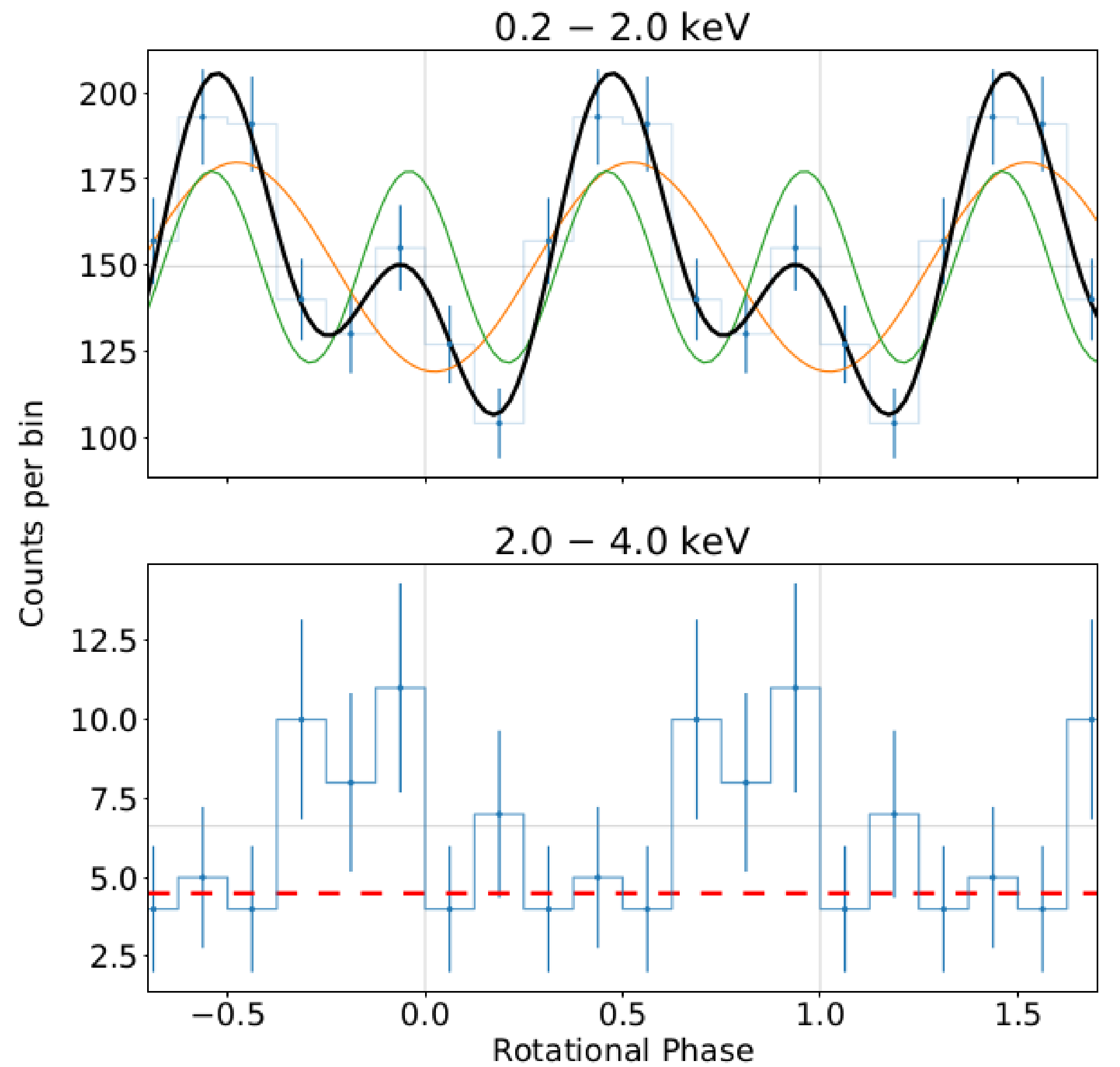


Рис. 3: Профили импульса в диапазонах 0.2–2 и 2–4 кэВ. На верхней панели представлены модель профиля (сумма двух первых гармоник и константы, чёрная линия) и её составляющие (оранжевая и зелёная линии). Вклад пульсирующей компоненты составляет $35 \pm 4\%$. Красной пунктирной линией на нижней панели показан уровень фона. Малое количество фотонов от источника на энергиях больше 2-х кэВ не позволяет делать уверенные выводы о наличии или отсутствии пульсаций.

Спектральный анализ

На энергиях выше 2-х кэВ наблюдается особенность неизвестного происхождения. Попытки её фитирования степенным законом приводят к фотонным индексам $\gtrsim 6.5$, нетипично большим для пульсаров. Наилучшее согласие ($\chi^2_{\nu}/d.o.f. = 47/49$) с данными достигается при моделировании суммой двух чернотельных компонент (поверхность НЗ и горячее пятно на ней). Соответствующие температуры и размеры областей $T_1 = 0.72^{+0.10}_{-0.07} \times 10^6$ К, $r_1 = 24^{+28}_{-14}$ км и $T_2 = 1.81^{+0.29}_{-0.21} \times 10^6$ К, $r_2 = 0.36^{+0.26}_{-0.16}$ км (указаны доверительные интервалы 1σ).

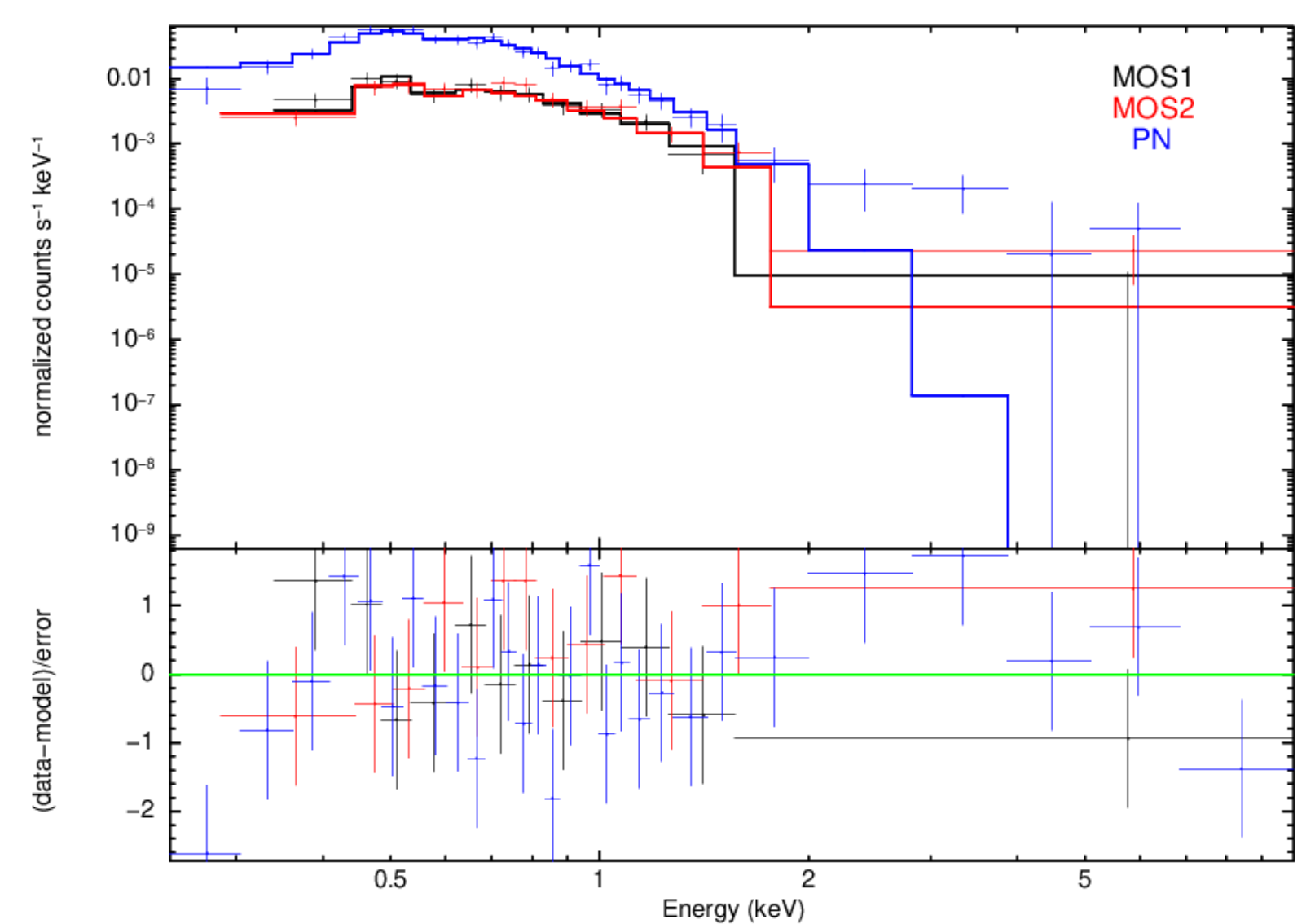


Рис. 4: Спектр J0554 в диапазоне 0.2–10 кэВ. Сплошными линиями показана наилучшая модель (сумма двух чернотельных источников).

Заключение

Нами впервые были выполнены глубокие наблюдения поля γ -пульсара J0554+3107 в рентгене. Пульсар надёжно детектируется в диапазоне 0.2–2 кэВ. Наблюдается модуляция кривой блеска с частотой пульсара, известной по данным Fermi, что надёжно указывает на верность отождествления рентгеновского источника с J0554. Профиль импульса имеет выраженную двухпиковую структуру, хорошо моделируемую суммой двух первых гармоник частоты пульсара и константы. Спектральный анализ подтверждает тепловую природу излучения, наилучшей моделью оказывается сумма двух чернотельных компонент — поверхности НЗ и горячего пятна на ней.