

Введение

Аккрецирующие рентгеновские пульсары — быстро вращающиеся нейтронные звезды с сильным магнитным полем ($\sim 10^{12} - 10^{13}$ Гс), у которых есть так называемый аккреционный диск. Аккреционный диск является газом, перетекающим со звезды-компаньона на компактный объект (белый карлик, нейтронная звезда, черная дыра).

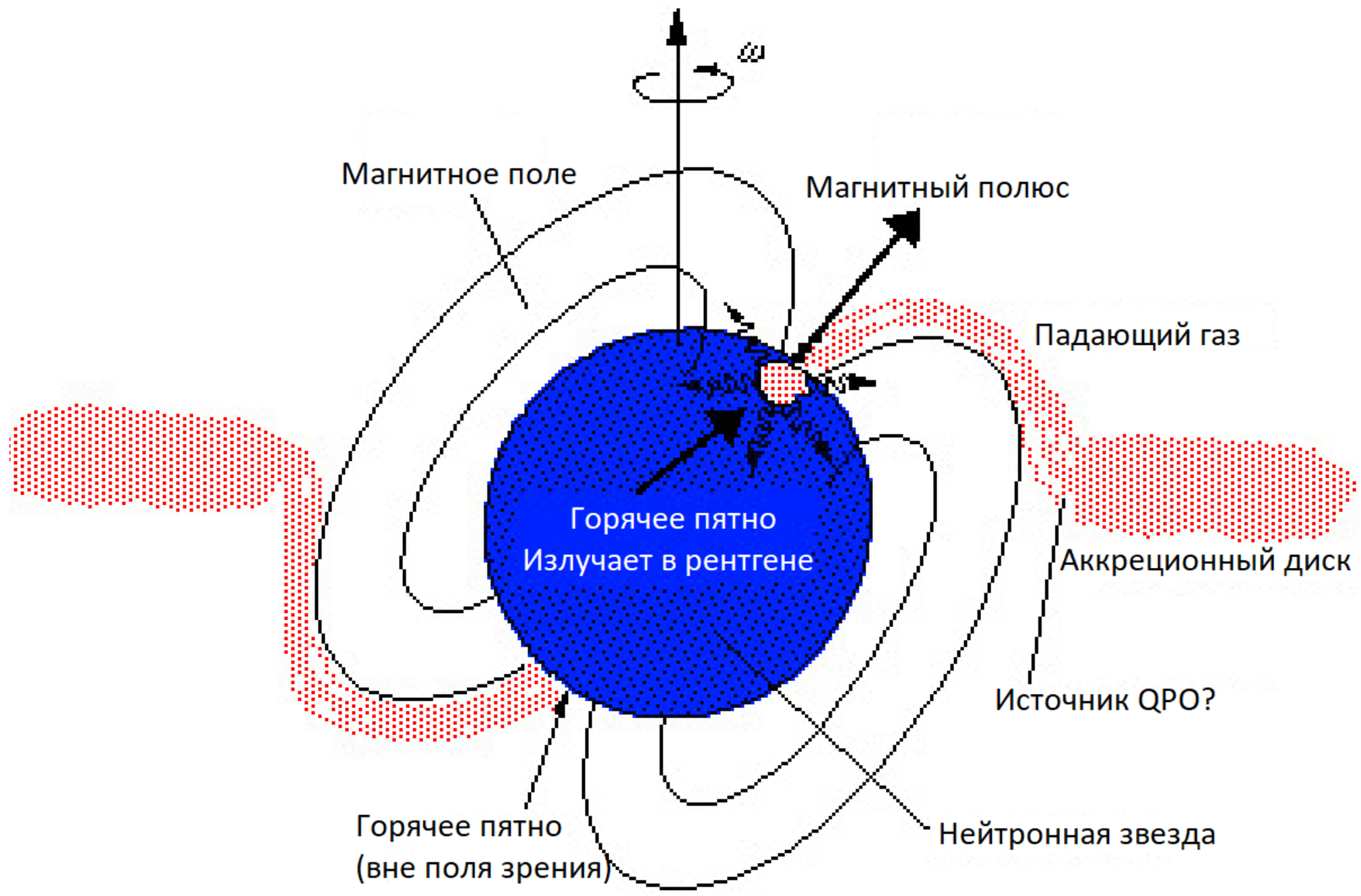


Figure 1: Аккрецирующий рентгеновский пульсар и его составляющие

Одним из представителей тесной двойной системы (компактный объект и звезда-компаньон) является кандидат в черную дыру MAXI J1820+070. MAXI J1820+070 был впервые зарегистрирован 11 марта 2018 года с помощью прибора MAXI. Вспышка такого объекта была видна в различных диапазонах волн и различными обсерваториями. К примеру, на рис. 2 представлена вспышка, которую зафиксировал прибор MAXI/GSC [?].

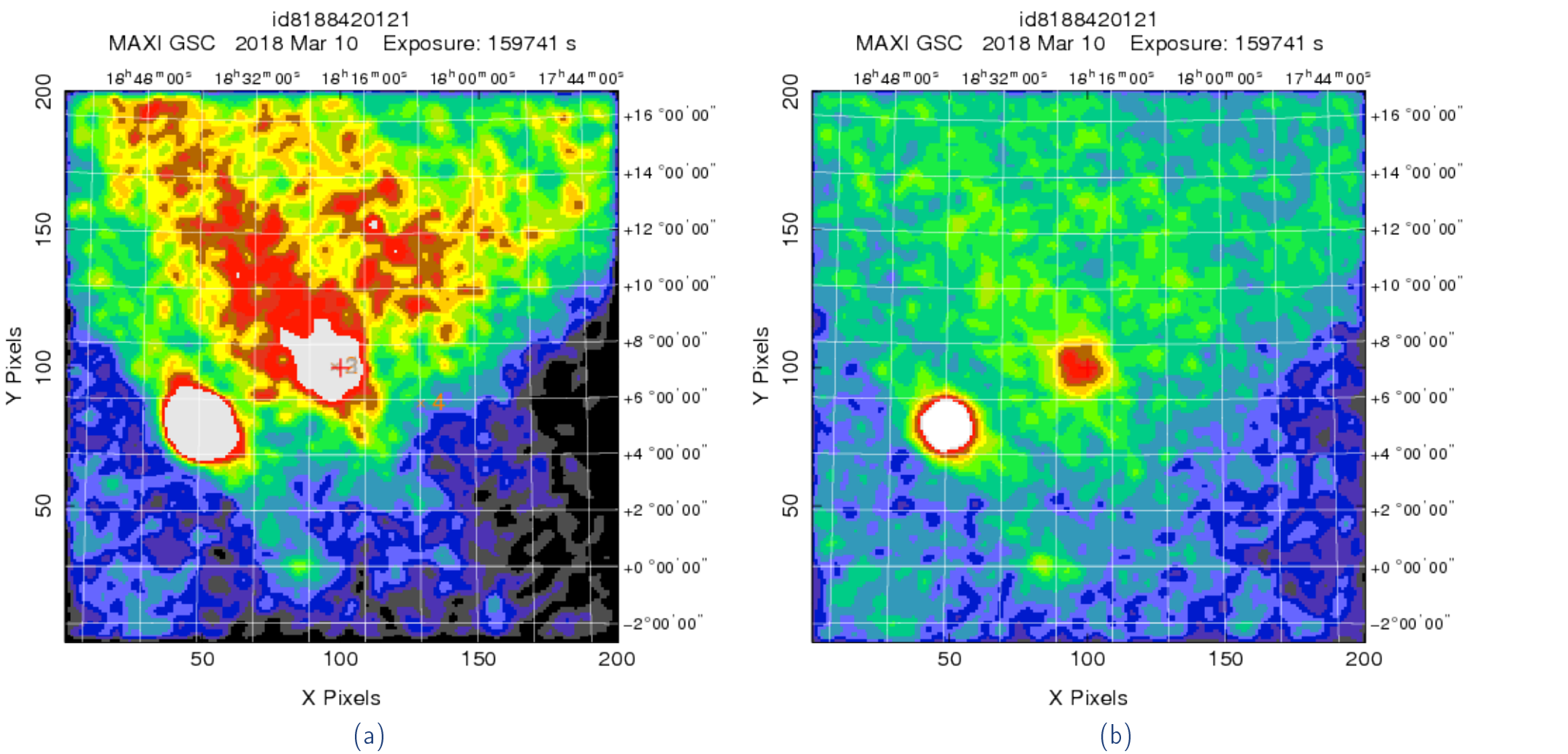


Figure 2: Область неба, в которой был обнаружен MAXI J1820+070 в диапазоне от 2 до 20 кэВ (а) и диапазоне от 2 до 4 кэВ (б)

В ходе наблюдений за объектом было замечено, что MAXI J1820+070 является источником QPO. QPO или, по-другому, квазипериодические колебания были в открыты в начале 80-х годах у нескольких маломассивных рентгеновских двойных. В отличие от периодического излучения, излучение этих объектов меняется в каких-то пределах, т.е. можно назвать это «квазиколебаниями» с «квазипериодом» обычно от ~ 0.1 до ~ 0.01 Гц. Изначально QPO были найдены у нейтронных звезд, но при дальнейшем изучении также и у кандидатов в черные дыры.

Методика

Суть работы заключается в анализе данных наблюдений рентгеновских пульсаров и кандидатов в черные дыры с космических аппаратов, дальнейшее определение параметров таких особенностей компактных объектов, как квазипериодические осцилляции и их эволюция со временем. Данные представляют собой несколько массивов чисел, означающих количество считанных фотонов за единицу времени на разных энергетических диапазонах. Для анализа квазипериодических осцилляций используется спектр мощности сигнала, полученный из временных историй скоростей счёта гамма-квантов преобразованием Фурье (или по-другому FFT).

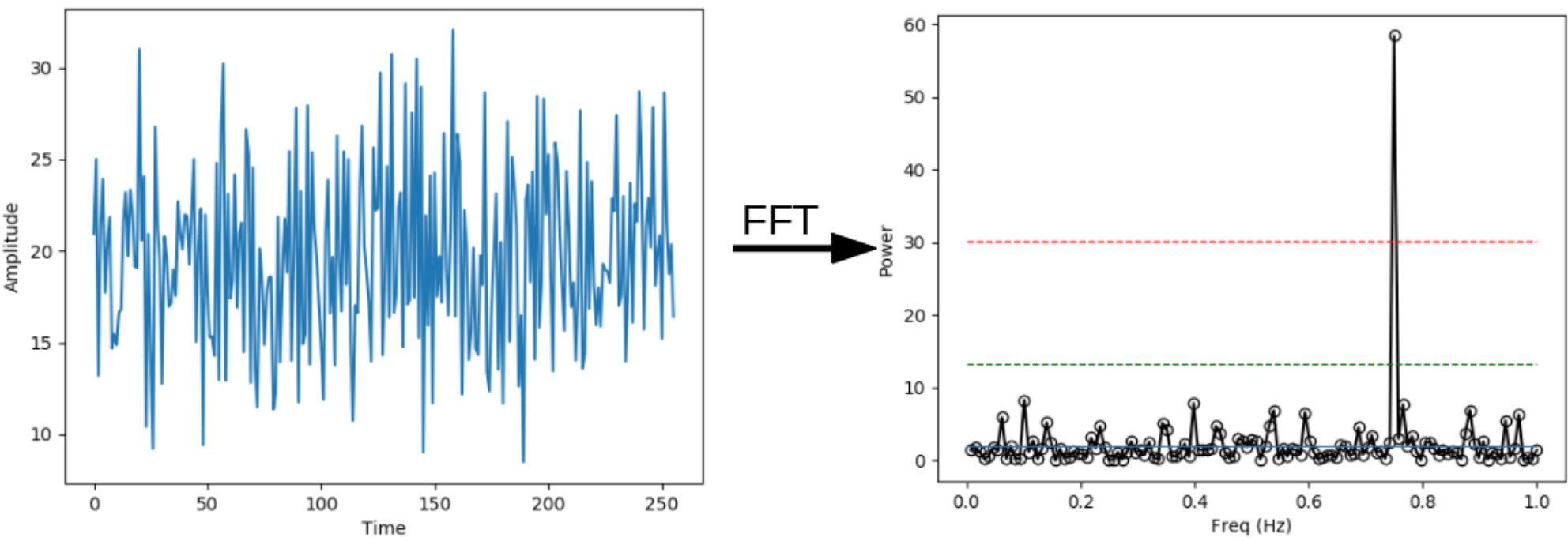


Figure 3: Преобразование Фурье помогает понять является ли сигнал периодическим и если да, то с какой частотой излучает объект

При анализе кандидата в черную дыру временная история разбивается на равные части определенной длительности (в нашем случае — 1 день). Для каждого участка строится его спектр мощности, который затем аппроксимируется степенной функцией вида f^{-1} и распределением Гаусса при помощи так называемого метода наибольшего правдоподобия. В результате выполнения программы находится частота квазипериодических колебаний.

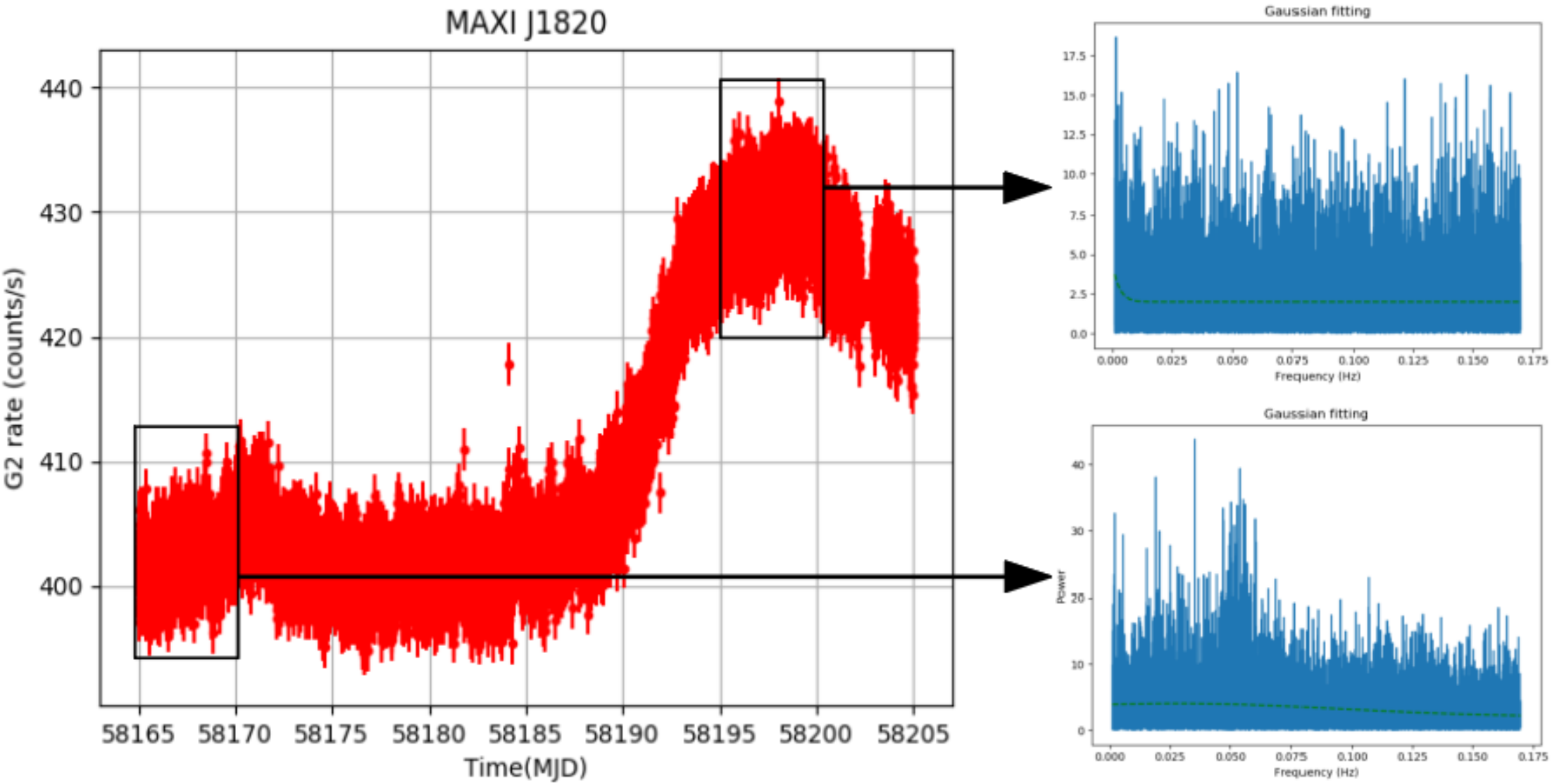
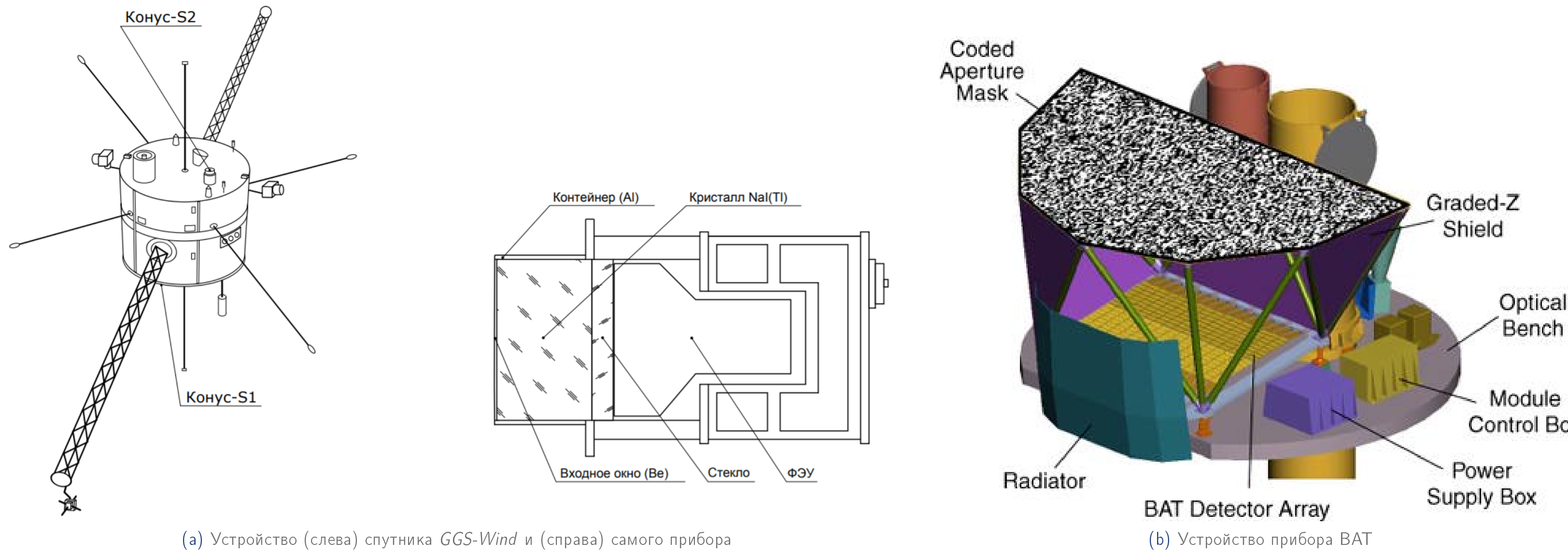


Figure 4: Красным обозначены данные с прибора, а синим график зависимости мощности от частоты после преобразования Фурье выделенной черным прямоугольником области

Инструменты

Конус — гамма-спектрометр, установленный на космический аппарат GGS-Wind. Данные с этого прибора можно увидеть на рис. 4.

BAT — один из инструментов орбитальной обсерватории SWIFT, представляющий из себя телескоп с кодирующей маской. Данный прибор также наблюдал MAXI J1820+070 и изначально данные с Konus-Wind сравнивались с Swift/BAT.



(а) Устройство (слева) спутника GGS-Wind и (справа) самого прибора

(б) Устройство прибора BAT

Результаты

В итоге сделана программа для анализа периодических сигналов, поиска значимых гармоник и их аппроксимация для дальнейшего нахождения пика QPO. Также сравнены данные по MAXI J1820+070, полученные с инструментов Konus-Wind, Swift/BAT, INTEGRAL/ISGRI, что можно увидеть ниже. Интересно то, что, несмотря на одинаковый спектр регистрируемых фотонов у ISGRI и Konus-Wind, первый прибор после пика регистрировал больше фотонов, чем второй.

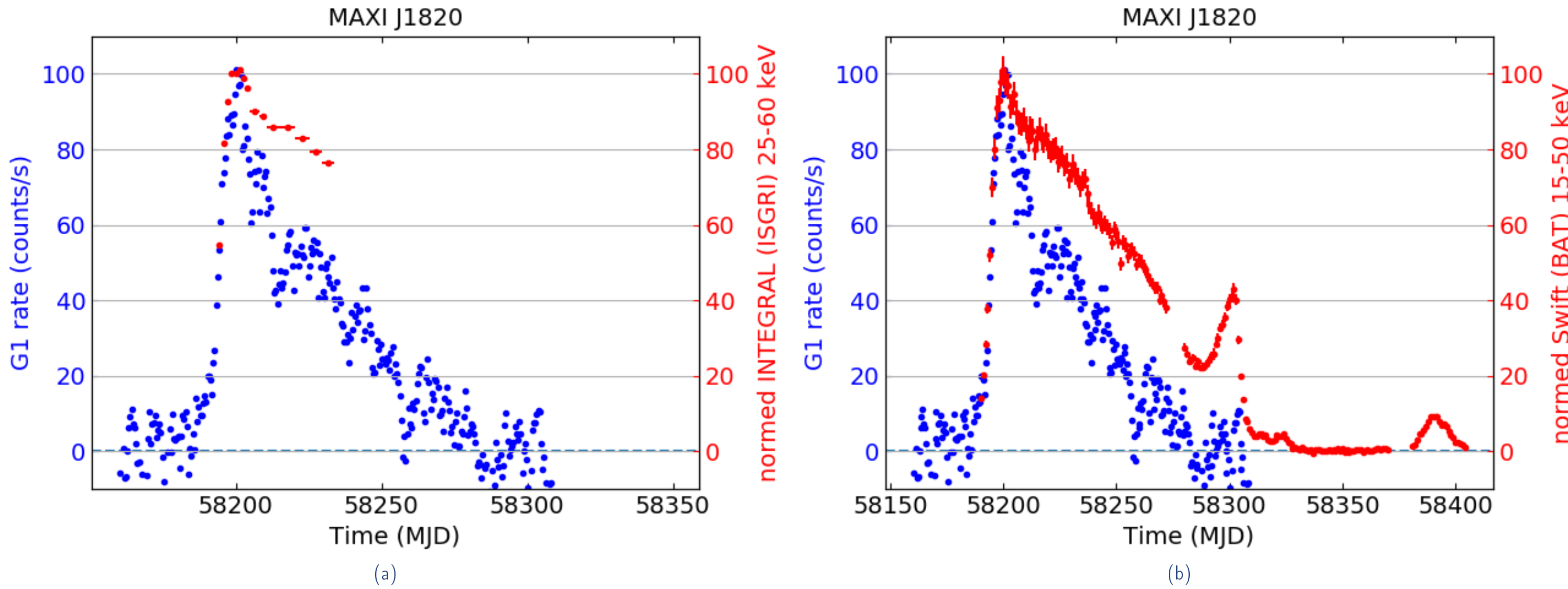


Figure 6: Сравнение счёта фотонов у Конус-Винд с (а) INTEGRAL или (б) BAT

Изначально была дана информация о первых 130 днях наблюдения ха MAXI J1820+070. После разбиения сигнала на 130 однодневных сигналов, оказалось, что на 38-ой день в спектре мощности можно найти квазипериодические осцилляции. Их возможно обнаружить до 62 дня. Частота осцилляций увеличивалась со временем от 0,03 до 0,078 Гц.

Интерпретация результатов

References

