

КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПУЛЬСАЦИИ ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКАХ ВСПЫШЕЧНЫХ АРКАД

Шабалин А.Н., Овчинникова Е.П., Чариков Ю.Е.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

QUASI-PERIODIC PULSATIONS OF HARD X-RAY RADIATION IN LOCAL SOURCES OF FLARE ARCADES

Shabalin A.N., Ovchinnikova, E.P., Charikov Yu.E.

Ioffe Institute, RAS, St. Petersburg, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-349-352>

In this investigation, we examined the time series of hard X-ray radiation generated by local sources of solar flares utilizing RHESSI telescope data. To divide the spatial hard X-ray maps into analyzed regions, magnetic structures characteristic areas were identified through the NLFFF method in the GX_Simulator program, employing approximations of SDO/HMI vector magnetograms. Temporal analysis of data from local regions was conducted utilizing the wavelet analysis method. The interpretation of the observed Quasi-Periodic Pulsations (QPPs) of hard X-ray radiation required numerical modeling of the propagation and emission of accelerated electrons in an oscillating flare magnetic loop. This was performed within the framework of the collapsing trap model.

1. Введение

Квазипериодические пульсации (КПП) излучения являются распространенным феноменом, который сопровождает взрывную фазу солнечных вспышек. Величины квази-периодов пульсаций в различных диапазонах энергий от радио- до гамма-излучения варьируются от долей секунд до нескольких минут. В настоящей работе будем интересоваться КПП в жестком рентгеновском (ЖР) диапазоне энергий >18 кэВ с характерными значениями периодов 8–100 с. Для целей настоящей работы разделим модели КПП на две условные категории: модели, в которых модулируется квазипериодический процесс вспышечного энерговыделения и модели, в которых происходит квазипериодическая модуляция параметров вспышечной петли таких как плотность плазмы, величина и направление магнитного поля. Модели с квазипериодическим энерговыделением, в свою очередь, разделим на модели, в которых последующее распространение ускоренных частиц происходит в “одной и той же” магнитной структуре и модели с вовлечением в процесс вспышки множества магнитно не связанных структур. Подробный обзор и классификацию моделей КПП см. в работах [1–2]. В настоящей работе проведен анализ временных рядов ЖР излучения из отдельных локальных источников двух солнечных вспышек SOL 2014-10-22 X1.6 и SOL 2014-04-

18 М 7.3 по данным телескопа RHESSI. Причем, разделение пространственных ЖР карт на анализируемые области проводилось по результатам выделения характерных областей магнитных структур, полученных аппроксимацией векторных магнитограмм SDO/HMI методом NLFFF в программе GX_Simulator [3–4]. Временной анализ данных из локальных областей проводился методом Вейвлет-анализа. С целью интерпретации наблюдаемых КПП ЖР излучения проводилось численное моделирование распространения и излучения ускоренных электронов в “осциллирующей” вспыхивающей магнитной петле в рамках модели коллапсирующих ловушек [5–6].

2. Событие SOL 2014-04-18

На рисунке 1 (нижняя панель) представлены временные профили рентгеновского излучения 20–50 кэВ для выделенных боксов рис. 1 (верхняя панель, слева) события SOL2014-04-18, рентгеновский класс M7.3, и результаты вейвлет-анализа для выбранных источников рис. 1 (верхняя панель, справа). Основываясь на NLFFF-аппроксимации

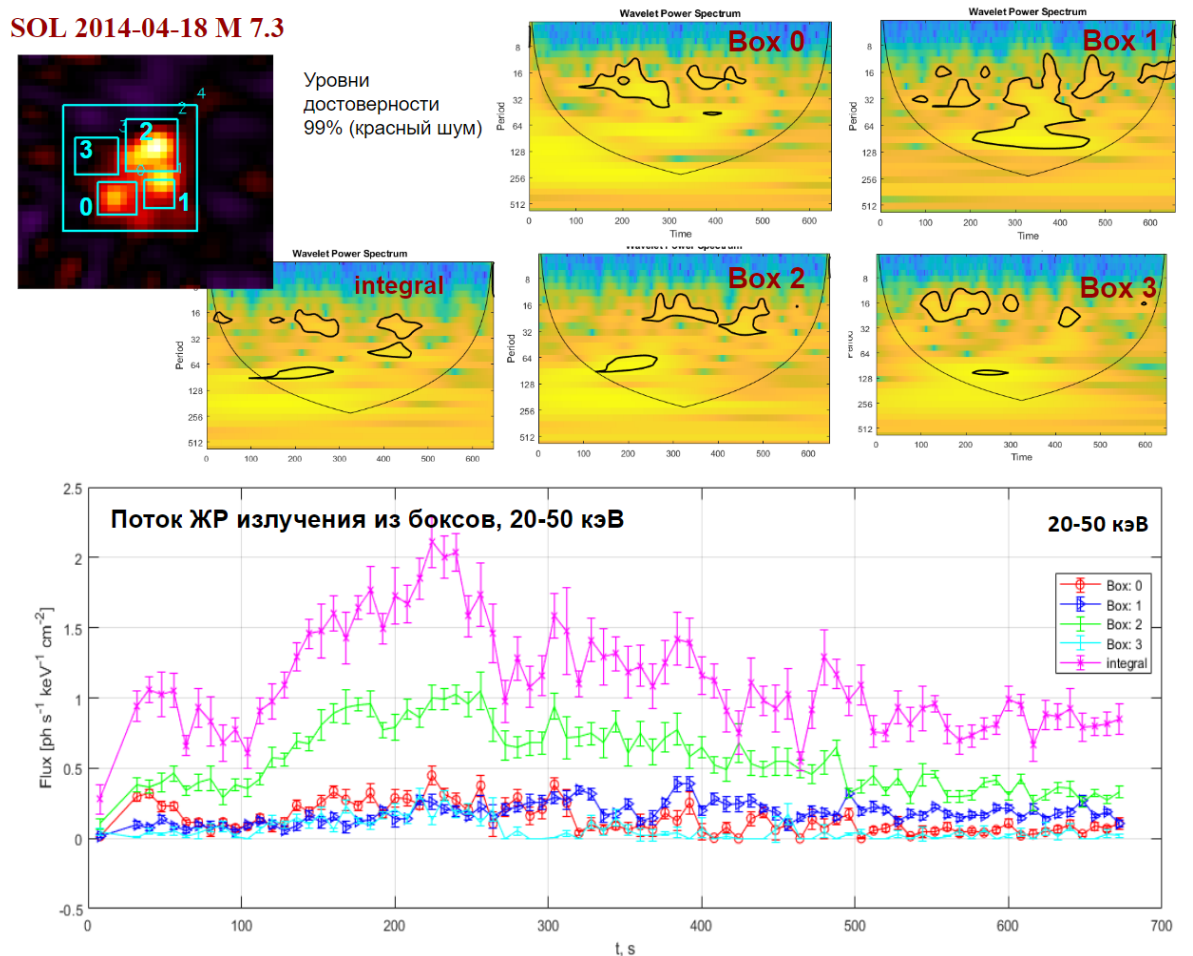


Рис. 1.

магнитных структур для данного события, источники 2–3, 0–1 являются магнитно связанными. Для всех локальных источников были обнаружены периоды осцилляций в диапазоне 8–90 с. Значениях полученных периодов и время появления / исчезновения как для магнитно связанных так и несвязанных источников не совпадают.

3. Моделирование КПП ЖР излучения

На рисунке 2 представлены результаты численного моделирования распространения и излучения ускоренных электронов во всплывающей петле в модели коллапсирующих ловушек [6–8]. Зелеными кривыми отражены модельные вариации индукции магнитного поля в вершине петли: случай “слабых” и “сильных” вариаций. Красные и голубые кривые отражают рентгеновский поток в диапазоне 20–50 кэВ в основаниях и вершине петли соответственно. Сплошные кривые отвечают модели с “слабыми” вариациями магнитного поля, штриховые – модели с “сильными” вариациями. Заданный модельный квазипериод вариаций магнитного поля 16 с детектируется на вейвлетограмме (нижние панели) только в модели с “сильными” вариациями магнитного поля.

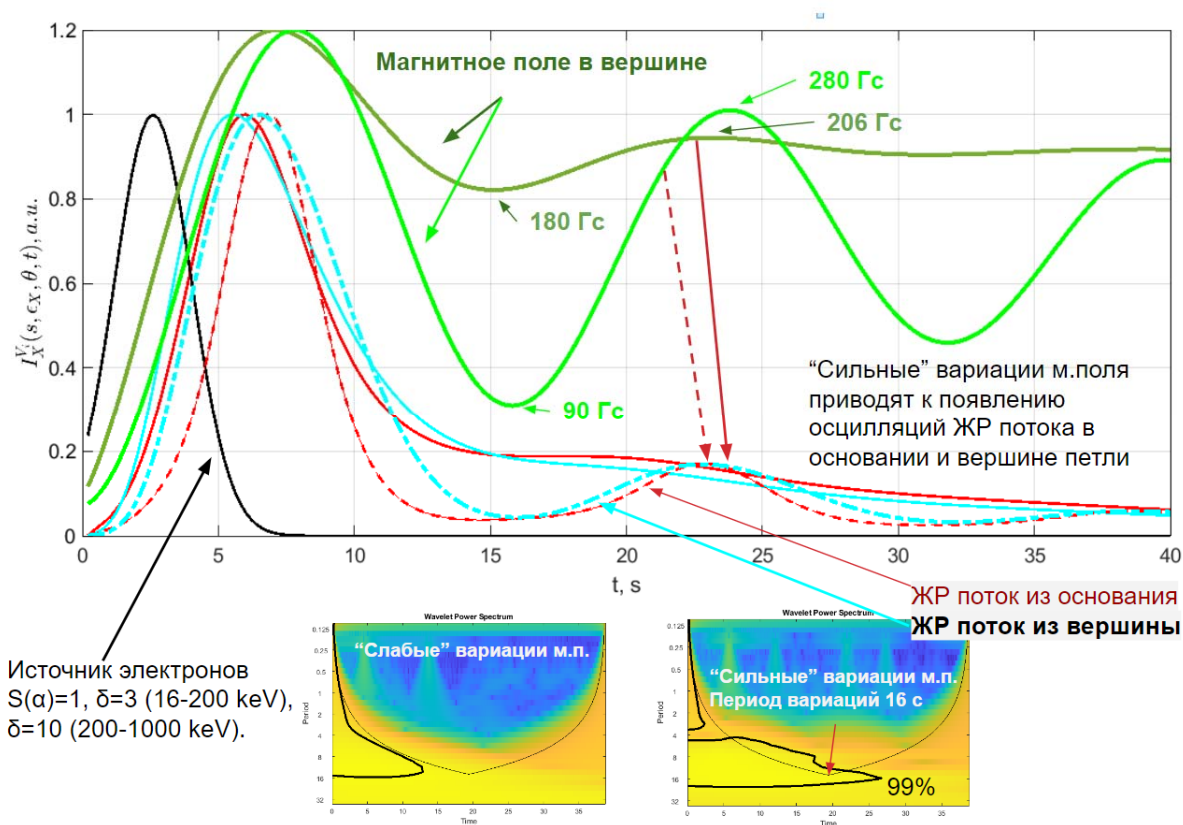


Рис. 2.

4. Заключение

В ЖР излучении вспышки SOL 2014-10-22 X1.6 обнаружены три (~16/32/48 с) периода в диапазоне 8–64 с. Осцилляции идентичны в магнитно-связанных и несвязанных источниках.

В ЖР излучении вспышки SOL 2014-04-18 M 7.3 обнаружено четыре периода в диапазоне 8–90 с. Осцилляции по значению периода и времени появления/исчезновения практически не пересекаются во всех источниках, вне зависимости от их магнитной связности.

При исследовании КПП необходимо анализировать отдельные источники с учетом их морфологии, поскольку интегральное излучение в ряде вспышек является сложной суперпозицией излучения из множества отдельных источников.

К вариациям в ЖР потоке за счет модулирования конуса потерь при изменении магнитного поля приводят осцилляции м.поля в корональной области с величинами >30% от среднего значения м.поля в вершине вспышечной петли (или 5–15 Гс/с). Если таких величин вариаций магнитного поля нет, то КПП в ЖР диапазоне могут быть результатом только КПП в ускорителе(ях). Таким образом, группа моделей с быстрыми магнитозвуковыми волнами в излучающей вспышечной петле, применительно к ЖР излучению, оказывается не способной объяснить наблюдаемые КПП.

Работа Шабалина А.Н. поддержана Грантом РФФ № 20-72-10158. Работа Овчинниковой Е.П. и Чарикова Ю.Е. выполнена по теме Государственного задания № 0040-2019-0025.

Литература

1. *Kupriyanova, E., Kolotkov, D., Nakariakov, V. & Kaufman, A.* // Solar-Terrestrial Phys. 2020. 6, 3–23.
2. *Zimovets, I.V. et al.* // Space Sci. Rev. 2021. 217, 66.
3. *Schou, J. et al.* // Sol. Phys. 2012. 275, 229–259 ().
4. *Nita, G.M. et al.* // Astrophys. J. Suppl. Ser. 2023. 267, 6.
5. *Shabalin, A.N., Charikov, Y.E., & Sharykin, I.N.* // The Astrophysical Journal. 2022. 931, 27.
6. *Shabalin, A.N., Ovchinnikova, E.P. & Charikov, Y.E.* // Astrophys. J. 2023. 954, 58.