

РАСШИРЕНИЕ И СЖАТИЕ СИСТЕМЫ ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЕЛЬ ВО ВРЕМЯ ВСПЫШКИ 15.01.2022 ПО ДАННЫМ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ И МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНАХ

Мешалкина Н.С.¹, Мельников В.Ф.²

¹*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия*

²*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия*

EXPANSION AND CONTRACTION OF A FLARE LOOP SYSTEM DURING THE FLARE ON Jan 15, 2022, ACCORDING TO THE ULTRAVIOLET AND MICROWAVE DATA

Meshalkina N.S.¹, Melnikov V.F.²

¹*Institute of Solar-Terrestrial Physics of SB RAS, Irkutsk, Russia*

²*Pulkovo Observatory of RAS, St.-Petersburg, Russia*

The dynamics of a single loop structure in a C1.3 flare on January 15, 2022 has been studied. A new type of behavior of flare loops has been discovered. In contrast to the previously known cases of visible contraction and expansion of flare loops in the phases of growth and decay of the flare radiation flux, respectively, in the flare on January 15, 2022, a directly opposite process is observed: the loop increases its height during the flare intensity rise phase and contracts during the decay phase. Characteristic changes in the height, duration and speed of the expansion and contraction of the loop structure have been established.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-327-330

Введение

В 2000-х годах в солнечных вспышках было открыто явление сокращения (уменьшения) размеров вспышечных петель на начальной (импульсной) фазе вспышки [1, 2]. Физическая причина этого явления была непонятна. Известная, так называемая, Стандартная Модель вспышки [3], напротив, предполагала увеличение высоты петель и увеличение расстояния между их основаниями по мере подъёма области пересоединения силовых линий магнитного поля в вертикальном токовом слое. В проанализированных вспышках увеличение размеров петель наблюдалось только на фазе спада вспышек.

Для объяснения явления сокращения размеров вспышечных петель было предложено несколько теоретических моделей. Среди них – модели, основанные на 2D и 3D моделях пересоединения [4–6] и учитывающие наблюдаемые факты о том, что в начальной фазе мощных двухленточных вспышек уменьшение высоты вспышечных петель часто сопровождается уменьшением расстояния между их основаниями и уменьшением ширины соответствующих петель, наблюдаемых в жестком рентгеновском (ЖР), ультрафиолетовом и микроволновом излучениях [7, 8]. В этих моделях сокращение размеров вспышечных петель связано не с динамическим ускоре-

чением размера петли, а с последовательным появлением новых вспышечных петель, размер которых становится всё меньше в каждом последующем акте пересоединения. Другой тип моделей – модели, основанные на предположении о реальном динамическом сокращении размеров вспышечной петли и никак не связанные с пересоединением и возникновением в результате этого новых, более коротких петель. Одна из них, выдвинутая недавно в работе [9], предполагает, что сокращение размера одиночной вспышечной петли происходит благодаря уменьшению электрического тока в петле, связанного с заметным увеличением сопротивления и процессом диссипации свободной магнитной энергии во время вспышечного энерговыделения.

Целью настоящей работы был поиск и анализ пространственной динамики вспышечного процесса, сопровождающегося явлениями реального расширения и сокращения размера вспышечных петель.

Для этого мы использовали данные об ультрафиолетовом (AIA/SDO, 304, 171, 193, 211, 335, 094, 131 Å, временное разрешение 12 с), рентгеновском (GOES, интегральный поток в каналах 0.5–4 Å и 1–8 Å; Fermi, потоки в 128 энергетических каналах, временное разрешение 4 с) и микроволновом (Сибирский Радиогелиограф (СРГ) в диапазоне 6–12 ГГц, временное разрешение 3 с для радиокарт) излучениях.

Результаты анализа

В данной статье мы представляем результаты анализа вспышки 15.01.2022 с изменяющейся высотой петель. Подробный анализ УФ изображений на основе данных AIA/SDO с угловым разрешением 0.6" показал, что наблюдаемая петельная структура представляет собой единую связанную систему петель. Изменение её высоты и длины происходило синхронно на всем протяжении от оснований до вершины и от нижней границы до верхней границы. Положение оснований было практически неизменным на протяжении всей вспышки.

На рис. 1 штриховой линией показана верхняя граница анализируемой петельной структуры, а штрих-пунктирной – её нижняя граница. На рис. 2 снизу приведён временной профиль ЖР излучения вспышки (Fermi, 4–14 кэВ). В верхней части показаны временные профили изменения наблюдаемой высоты: толстой линией – верхняя граница, тонкой – нижняя. Видно, что на импульсной фазе роста потока ЖР излучения происходило систематическое увеличение высоты петельной структуры: на $(h_1 - h_2)/h_1 \sim 50\%$ для верхней границы и 25% для нижней границы. Средняя скорость подъёма: $V \sim 50$ км/с для верхней границы и $V = 30\text{--}50$ км/с для нижней границы. На фазе спада потока ЖР излучения, началось уменьшение высоты петли на $(h_1 - h_2)/h_1 \sim 20\%$ для верхней границы и 50% для нижней границы. Средняя скорость уменьшения высоты: $V = 7\text{--}8$ км/с для верхней границы и $V = 7\text{--}12$ км/с для нижней границы.

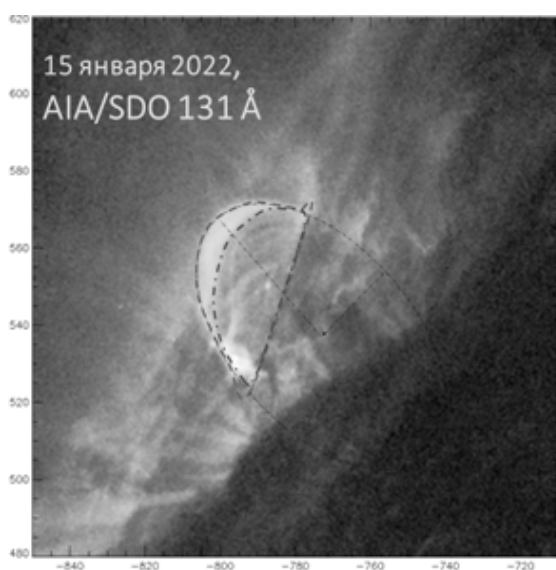


Рис. 1.

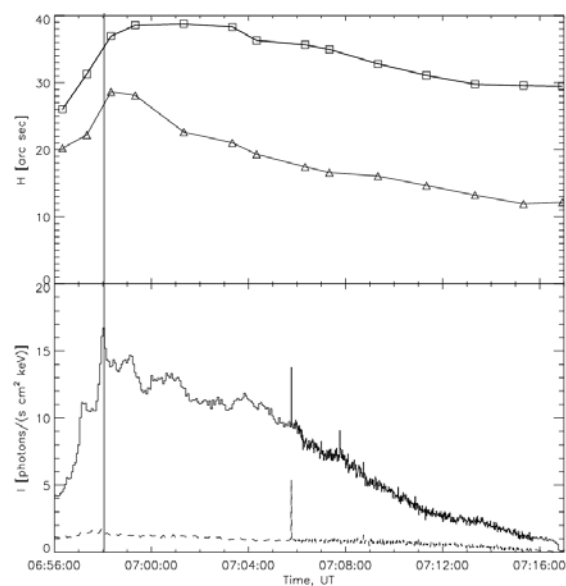


Рис. 2.

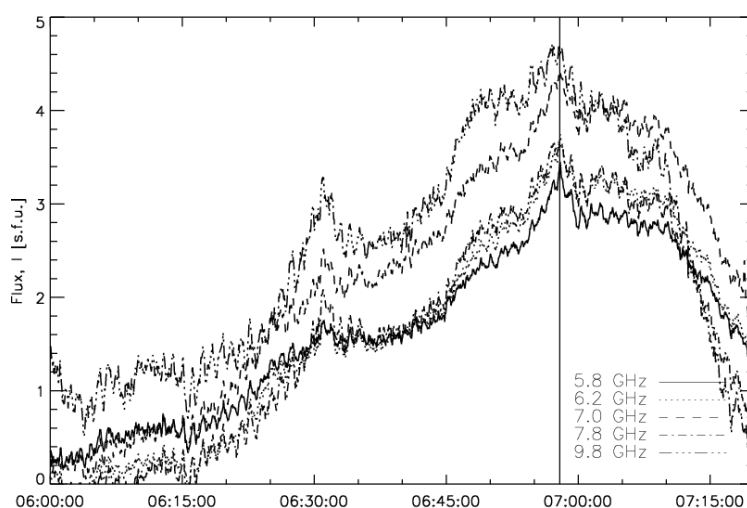


Рис. 3.

Первые видимые уярчения на УФ изображениях в линии 131 Å появились в интервале 06:45–06:50 UT в области левого основания петлевой структуры. Поднимающаяся петлевая структура стала отчётливо видна после 06:54 UT. Начало заметного роста потока рентгеновского излучения по данным Fermi (4–14 кэВ) наблюдалось примерно в это же время (рис. 2). Однако анализ корреляционных временных профилей потока радиоизлучения по данным Сибирского радиогелиографа в диапазоне 6–12 ГГц показывает (рис. 3), что процесс энерговыделения начался гораздо раньше – уже в интервале 06:15–06:30 UT. Во время первых видимых в ультрафиолете уярчений происходит заметное увеличение скорости возрастания радиопотока. Максимальный рост высоты петлевой структуры совпадает с максимумом ($\sim 06:58$ UT) как микроволнового, так и рентгеновского (4–14 кэВ) излучения (вертикальная линия на рис. 2 и 3).

Обсуждение и выводы

Анализируя динамику вспышечного процесса в этой вспышке, мы обнаружили новый характер поведения петельной структуры. В отличие от ранее известных случаев видимого сокращения размеров вспышечных петель на фазе роста и их увеличения на фазе спада потока вспышечного излучения, во вспышке 15.01.2022 имел место прямо противоположный процесс: подъём петли на фазе роста и опускание петли на фазе спада. Отличительной чертой данного события является также то, что в нём не наблюдалось ни увеличения расстояния между основаниями петельной структуры на фазе роста, ни его уменьшения на фазе спада, свидетельствующие о появлении новых вспышечных петель и характерные для известных двухленточных вспышек. Эти факты указывают на то, что петельная структура поднималась и опускалась как единое целое, давая основание для предположения о важной роли изменения в ходе вспышки величины свободной магнитной энергии во вспышечной петле (азимутальной компоненты магнитного поля и силы электрического тока) в динамике высоты вспышечной петли. Например, согласно работе [9], увеличение тока в петле может приводить к подъёму петли и, наоборот, уменьшение тока – к уменьшению высоты петли, к её сжатию. Указанные физические процессы требуют специального рассмотрения и будут изучены в последующей работе.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, грант № 22-12-00308.

Литература

1. Sui, L., & Holman, G.D. // *ApJ*, 2003, 596, L251.
2. Li, Y.P., & Gan, W.Q. // *ApJ*, 2005, 629, L137.
3. Kopp, R.A., & Pneuman, G.W. // *Sol. Phys.*, 1976, 50, 85.
4. Bogachev, S.A., Somov, B., Kosugi, T., & Sakao, T. // *ApJ*, 2005, 630, 561.
5. Ji, H., Wang, H., Goode, P.R., et al. // *ApJ*, 2004, 607, L55.
6. Su, Y., Golub, L., & Van Ballegoijen, A.A. // *ApJ*, 2007, 655, 606.
7. Ji, H., Huang, G., Wang, H., et al. // *ApJ*, 2006, 636, L173.
8. Reznikova, V.E., Melnikov, V.F., Ji, H.S., Shibasaki, K. // *ApJ*, 724, 2010, 171.
9. Zaitsev, V.V. & Stepanov, A.V. // *Ge&Ae*, 2020, 60, 915.