

О ПРИРОДЕ СУБТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ 04.05.22 НА ПОСЛЕИМПУЛЬСНОЙ ФАЗЕ

**Смирнова В.В.¹, Цап Ю.Т.¹, Моторина Г.Г.^{2,3,4},
Моргачев А.С.², Барта М.⁴**

¹*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Россия*

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

³*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*

⁴*Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences, 251 65 Ondřejov, Czech Republic*

ON THE NATURE OF 04.05.22 SOLAR FLARE EMISSION AT THE POST-IMPULSIVE PHASE

**Smirnova V.V.¹, Tsap Yu.T.¹, Motorina G.G.^{2,3,4},
Morgachev A.S.², Barta M.⁴**

¹*Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny, Russia*

²*Central Astronomical Observatory at Pulkovo of RAS, St. Petersburg, Russia*

³*Ioffe Institute, St. Petersburg, Russia*

⁴*Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences, 251 65 Ondřejov, Czech Republic*

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-293-296>

The maximum sub-terahertz radiation sometimes corresponds to the post-impulsive flare phase when the temperature drops and coronal rain forms due to the development of thermal instability in hot coronal loops. As a result, the optically thin sub-terahertz radiation flux increases because of increasing the optical thickness of the thermal source.

This work is devoted to investigations the relationship between sub-terahertz radiation from the solar flare SOL2022-05-04T08:45 accompanied by the temperature and emission measure variations of the EUV coronal loop plasma during the post-impulsive phase. It has been shown that coronal loops can make a significant contribution to the sub-terahertz radiation of the event under study.

Введение

Как было показано ранее, максимум субтерагерцового (суб-ТГц) излучения солнечных вспышек часто наблюдается на после импульсной фазе, когда формируется корональный дождь [1], связанный с тепловой неустойчивостью плазмы ультрафиолетовых корональных петель с температурой $T = 10^6 - 10^7$ К. В некоторых случаях температура корональных петель падает вблизи суб-ТГц максимума вспышки, как это показано на рис. 1. Это позволяет предположить, что усиление суб-ТГц излучения в области его максимума может быть связано с корональным дождем на после импульсной фазе некоторых вспышек.

Целью данной работы является анализ связи между суб-ТГц излучением и развитием тепловой неустойчивостью корональных петель, ответственной, в частности, за формирование коронального дождя.

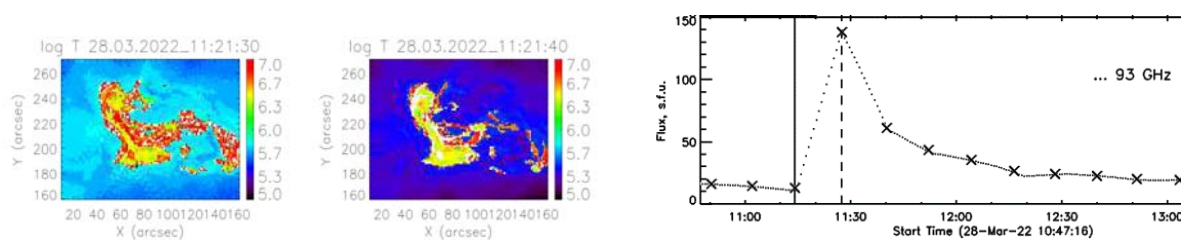


Рис. 1. Слева: карты распределения температуры источника вспышки, полученные по данным SDO/AIA, вблизи максимума суб-ТГц излучения вспышки SOL2022-03-28T11:28 M4. Справа: временной профиль излучения на 93 ГГц, полученный на РТ-7.5.

Методика и анализ данных

Подход основан на предположении, что временная эволюция излучения суб-ТГц вспышки может определяться либо температурой, либо мерой эмиссии излучения соответственно для оптически толстого (F_1) и оптически тонкого (F_2) теплового источника, т.е.

$$F_1 \propto TS, \quad F_2 \propto \frac{n^2 V}{\sqrt{T}}, \quad (1)$$

где S и V – соответственно его площадь и объём. Отметим, что оптически тонкое излучение характеризует конденсацию плазмы, связанную с тепловой неустойчивостью корональных петель. Таким образом, сравнивая особенности эволюции температуры T и меры эмиссии $EM = n^2 V$ источника с поведением профиля суб-ТГц излучения можно оценить вклад оптически толстой/тонкой хромосферной плазмы корональных петель в тепловое суб-ТГц излучение.

Нами были проанализированы наблюдения вспышки SOL2022-05-04T08:45, рентгеновского класса GOES M5.7, в различных спектральных диапазонах, включая данные на частоте 93 ГГц, полученные на телескопе РТ-7,5 МГТУ им. Н.Э. Баумана [2], которые представлены на рис. 2. Видно, что максимум суб-ТГц излучения не совпадает с импульсной фазой вспышки. Сравнение профилей суб-ТГц и КУФ излучения не показало явной связи суб-ТГц источника вспышки с корональными вспышечными петлями.

В работе [3] для исследуемой вспышки была рассчитана дифференциальная мера эмиссии (DEM) по данным AIA/SDO в диапазоне температур $0.5 \leq T \leq 32$ МК [4] и вычислен ожидаемый поток суб-ТГц излучения, который составил ~ 40 с.е.п. Это позволило сделать вывод о значительном вкладе корональной плазмы в суб-ТГц излучение. Поэтому был проведен детальный анализ эволюции температуры T и меры эмиссии EM вспышки во временном диапазоне 08:43-09:15 UT с шагом 12 с.

На рис. 3 (слева) показано сравнение временных профилей T и EM с профилем на частоте 93 ГГц. Видно, что максимум суб-ТГц излучения вспышки совпадает с максимумом меры эмиссии и с началом появления

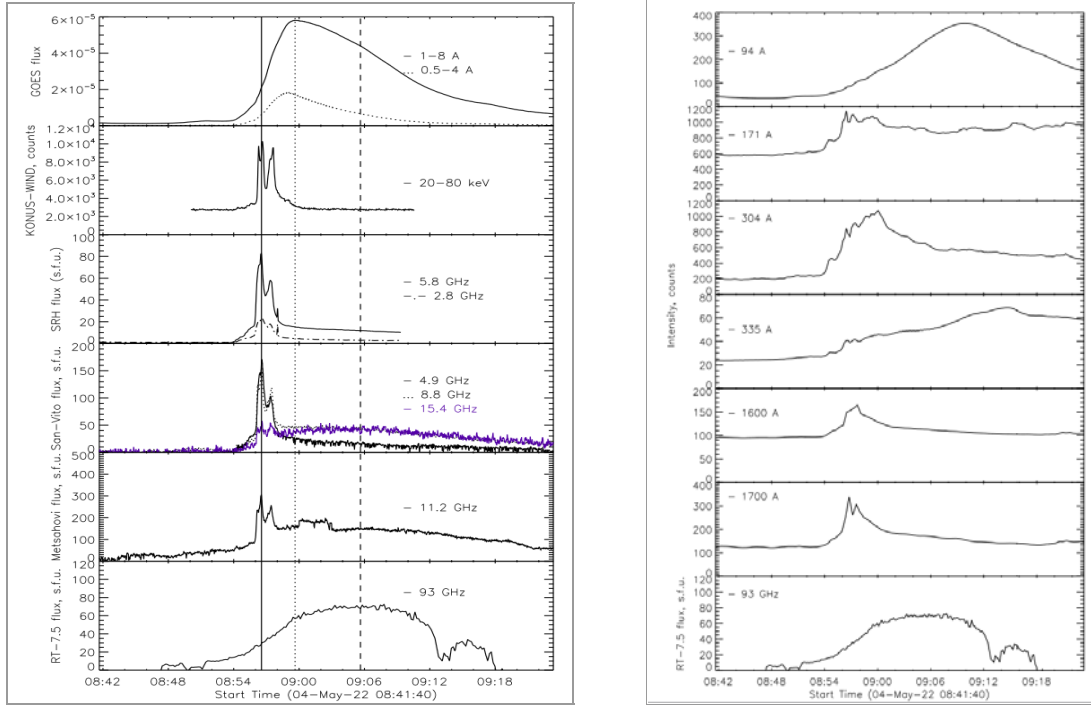


Рис. 2. Слева: временные профили вспышки SOL2022-05-04T08:45 в разных спектральных диапазонах. Максимумы микроволнового, мягкого рентгеновского и суб-ТГц излучения обозначены соответственно вертикальной сплошной, пунктирной и штриховой линиями. Справа: временные профили излучения линий КУФ и суб-ТГц.

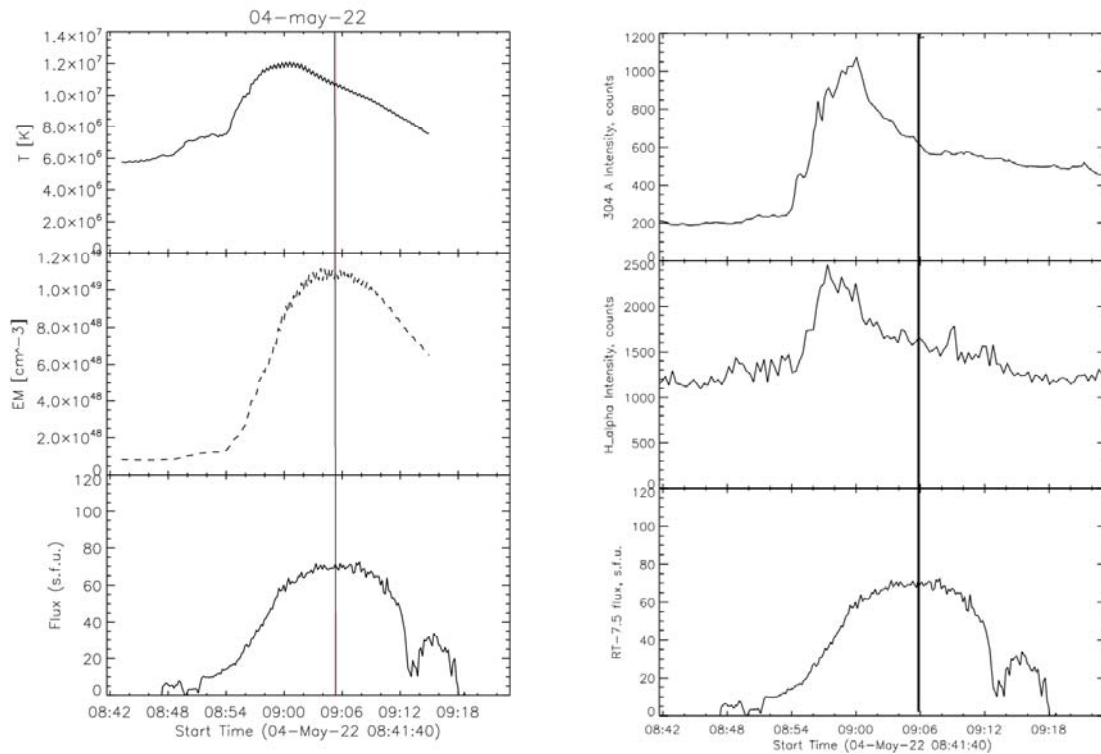


Рис. 3. Слева: сравнение профилей температуры T и меры эмиссии EM , полученные по данным AIA/SDO с профилем суб-ТГц излучения вспышки на 93 ГГц. Справа: сравнение профилей суб-ТГц излучения вспышки и профилей в линии H_α и канале 304 Å. Сплошная линия на обоих рисунках соответствует максимуму суб-ТГц излучения.

коронального дождя по данным в линии $304 \text{ \AA}$ (<https://iris.aws.lmsal.com/data/level2/2022/05/04/>). Поскольку совпадение максимума на частоте 93 ГГц обнаруживается только для меры эмиссии EM , в отличие от профиля излучения в хромосферной линии $H\alpha$ и «холодном» канале $304 \text{ \AA}$, то можно сделать вывод о доминирующей роли тепловой плазмы горячих корональных петель в генерации суб-ТГц компоненты исследуемого события.

Выводы

1. Проведен многоволновой анализ вспышечного события 4 мая 2022 г.
2. Показано, что максимумы профилей суб-ТГц излучения и меры эмиссии корональной плазмы по данным AIA/SDO совпадают. Это указывает на существенный вклад оптически тонкой плазмы в суб-ТГц излучение вспышки вблизи максимума на частоте 93 ГГц.
3. Получены указания, что суб-ТГц излучение, по крайней мере, для некоторых вспышечных событий может быть связано с конденсацией коронального вещества, сопровождаемой формированием коронального дождя.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ No.20-52-26006, РФФИ No.22-12-00308, РФФИ No.20-72-10158, Минобрнауки (НИР No. 1021051101548-7-1.3.8) и Госзадания 0040-2019-0025.

Литература

1. Antolin P., Dolliou A., Auchere F. et al. // A&A, 2023, V.676, A112.
2. Tsap Yu.T. Smirnova V.V., et al. // ASR, 2016, V.57, p. 1449.
3. Smirnova V.V., Tsap Y.T., Ryzhov V.S. et al. // Ge. Ae. 2023, V. 63, p. 527.
4. Hannah I.G. & Kontar E.P. // A&A, 2012, V. 539, id. A146.