О ВОЗМОЖНОСТИ СОПОСТАВЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В КОРОНЕ С ДИНАМИКОЙ РАСПРЕДЕЛЕННО- ГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

Фурсяк Ю.А., Абраменко В.И.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный, Республика Крым, Россия

ON THE POSSIBILITY OF COMPARING TEMPORAL TEMPERA- TURE VARIATIONS IN THE CORONA WITH THE DYNAMICS OF DISTRIBUTED ELECTRIC CURRENT IN THE ACTIVE REGION

Fursyak Yu.A., Abramenko V.I.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

Using data from the Atmospheric Imaging Assembly (AIA) and the Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) instruments onboard the Solar Dynamics Observatory (SDO) we calculated respectively: 1) total intensities of ultraviolet (UV) radiation in AIA channels 131, 171, 193 and 211Å in the corona above the active region (AR); 2) large-scale electric current in AR. The object of the study was AR NOAA 12192. The monitoring of the AR was carried out from October 22 to October 25, 2014 with a time resolution of 12 minutes. Comparison of the total intensity of UV radiation in different channels for each moment of time made it possible to calculate the temperature in the corona above the AO and to establish the nature of temporal temperature variations during the monitoring time. The study of the dynamics of temperature in the corona and changes in the magnitude of the large-scale current allowed us to draw the following conclusions: 1) In quiet time intervals (outside of solar flares), the average temperature in the corona above the AR is about 1.5 million K, and during solar flare events – 2–3.2 million K; 2) Heating of the corona by large-scale currents occurs in a stationary mode; 3) The higher temperature of the upper layers of the solar atmosphere during solar flares is due to processes directly in the corona.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-285-288

Нагрев короны остается одной из важных и нерешенных проблем современной физики Солнца. Исследователи рассматривают различные механизмы нагрева коронального вещества: испарение хромосферной плазмы в корону [1], диссипация альфвеновских волн [2], циклотронное поглощение электромагнитных волн [3], микровспышки [4], тиринг-неустойчивость [5], омическую диссипацию электрических токов [6, 7] и не имеют единого мнения относительно доминирования того или иного механизма.

Здесь мы ставим перед собой цель выяснить роль крупномасштабных электрических токов, обнаруженных нами ранее [8] в процессах нагрева коронального вещества. Для достижения данной цели мы ставим перед собой задачи: 1) оценить температуру в короне над АО на основе данных об интенсивности УФ-излучения в разных диапазонах; и 2) сопоставить временные вариации температуры в короне с динамикой крупномасштабного электрического тока.

Объектом исследования является АО NOAA 12192, мониторинг которой нами осуществлялся на протяжении 4 дней – с 22 по 25 октября 2014 года. За указанный временной интервал были использованы данные об интенсивности УФ-излучения в короне в каналах 131, 171, 193 и 211Å, предоставляемые инструментом AIA/SDO [9], а также магнитограммы компонент вектора магнитного поля на уровне фотосферы, получаемые инструментом HMI/SDO [10]. В последующем данные об интенсивности УФ-излучения использованы для определения температуры в короне, а магнитографические данные – для обнаружения и вычисления крупномасштабного электрического тока, согласно методике, описанной в [8].

Основной проблемой в достижении поставленных задач является то, что, имея данные об интенсивности УФ-излучения в одном определенном диапазоне, невозможно однозначно определить температуру в короне, поскольку данная зависимость достаточно сложная (см. рис. 13 в [9]). Однако сопоставление между собой данных в нескольких диапазонах УФ-излучения позволяет существенно снизить неопределенности в нахождении значения температуры в заданный момент времени. Мы использовали зависимость между температурой и интенсивностью УФ-излучения в каналах AIA/SDO 131, 171, 193 и 211Å (рис. 1) для оценки средней температуры в короне на протяжении времени мониторинга АО.

Рис. 1. Зависимость между температурой и интенсивностью УФ-излучения в анализируемых каналах инструмента AIA/SDO.

Сравнение интенсивностей УФ-излучения в анализируемых каналах в спокойный временной интервал (вне вспышек, см. рис. 2, левая панель) показало, что наиболее интенсивное излучение наблюдается для канала 193Å, а наименее интенсивное – для канала 131Å, что позволяет нам оценить температуру в короне в 1.5 млн. К ($\lg T = 6.2$). Во время вспышечных процессов распределение интенсивностей УФ-излучения иное (см. рис. 2, правая панель): наиболее интенсивное излучение наблюдается для канала 211Å, что говорит о повышении средней температуры в короне над АО до 2.0–3.2 млн. К ($\lg T = 6.3$ – 6.5).

Рис. 2. Интенсивности УФ-излучения в анализируемых каналах AIA/SDO в спокойный временной интервал (слева) и во время вспышки рентгеновского класса X3.1 24 октября 2014 года (справа). Размер изображений 583×348 Мм.

Сопоставление динамики крупномасштабного электрического тока и временных вариаций температуры в короне (рис. 3) позволяет сделать следующие выводы:

1. Временные вариации крупномасштабного тока достаточно плавные и претерпевают существенные изменения на временной шкале не менее 12 часов. Резких скачков величины крупномасштабного тока во время вспышек в АО не наблюдается. Вероятно, это обусловлено тем, что крупномасштабный ток, как мы полагаем, охватывает значительную часть АО и связан с крупномасштабной системой петель, обладающих высокой индуктивностью, т.е., длительным «откликом» на любые события.

2. Вне вспышек оцененная нами интегральная температура в короне над АО составляет порядка 1.5 млн. К. Видимых колебаний температуры вне вспышечных событий не наблюдается. Вероятно, это связано с грубостью нашего метода.

3. Мы не видим никакой зависимости между динамикой крупномасштабного тока в АО и вариациями температуры в короне. Однако, это не

означает, что электрические токи не играют никакой роли в нагреве коронного вещества. Моделирование, выполненное в [11] для области NO-AA 12192 подтверждает присутствие крупномасштабного тока в короне. Мы полагаем, что нагрев короны крупномасштабными электрическими токами идет в стационарном (квазистационарном) режиме.

4. Повышение температуры в короне над АО во время вспышечных событий до значений 2–3.2 млн К не связано с динамикой крупномасштабных токов, а, следовательно, обусловлено процессами высоко в короне.

Рис. 3. Динамика крупномасштабного электрического тока (черная двойная кривая) и температуры в короне над АО (черная кривая). Серой кривой отмечен поток рентгеновского излучения в диапазоне длин волн 1–8Å на орбите Земли (по данным GOES-15). Указаны рентгеновские классы наиболее мощных вспышек, ассоциированных с исследуемой АО.

Работа выполнена при поддержке НИР №0831-2019-0006.

Литература

1. Antonucci E., Alexander D., Culhane J.L., et al. In Strong K.T., et al. (Eds), *The Many Faces of the Sun: A Summary of the Results from NASA's Solar Maximum Mission*. Berlin: Springer, 1998, p. 331.
2. Hollweg J.V. // *Astrophys. J.*, 1984, vol. 277, pp. 392–403.
3. Melrose D.B., Dulk G.A. // *Astrophys. J.*, 1984, vol. 282, pp. 308–315.
4. Parker E.N. // *Astrophys. J.*, 1988, vol. 330, pp. 474–479.
5. Galeev A.A., Rosner R., Serio S., Vaiana G.S. // *Astrophys. J.*, 1981, vol. 243, pp. 301–308.
6. Spicer D.C., In Ulmschneider P., et al. (Eds), *Mechanisms of Chromospheric and Coronal Heating*. Berlin: Springer-Verlag, 1991, p. 547.
7. Zaitsev V.V., Shibasaki K. // *Astronomy Reports*, 2005, vol. 49, pp. 1009–1017.
8. Fursyak Yu.A., Kutsenko A.S., Abramenko V.I. // *Solar Phys.*, 2020, vol. 295, article id. 19.
9. Lemen J.R., Title A.M., Akin D.J., et al. // *Solar Phys.*, 2012, vol. 275, pp. 17–40.
10. Hoeksema J.T., Liu Y., Hayashi K., et al. // *Solar Phys.*, 2014, vol. 289, pp. 3483–3530.
11. Jiang C., Wu S.T., Yurchyshyn V. // *Astrophys. J.*, 2016, vol. 828, article id. 62.