

ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ СТАРТА И ПОСТ-ЭРУПТИВНОГО УСКОРЕНИЯ КВМ 17, 24, 25 И 28 ФЕВРАЛЯ 2023

Ожередов В.А., Струминский А.Б.

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

ESTIMATES OF THE LAUNCH MOMENTS AND POST-ERUPTIVE ACCELERATION FOR CME's ON FEB 17, 24, 25 & 28, 2023

Ozheredov V.A., Struminsky A.B.

Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-257-260>

Scripts of the evolution of the kinematic characteristics of coronal mass ejections (CMEs) may dramatically differ from simple standard models. These differences are based on quite “nontrivial effects” that cannot be identified using rough estimates based on the standard approximation of the CME position dependence on time called LP-model. The situation is aggravated by the non-working aperture C1 of the LASCO coronagraph and, as a consequence, the large uncertainty of CME launch moment using the standard approximation model. We have developed a more detailed model of the temporal dependence of the CME height, hereafter referred to as the PB-model. Both models provide testable consequences, namely methods for interval estimates of the CME launch time. In this work, we show that the application of the interval PB-estimate to some events in February 2023 that recently have been considered in paper [1]: 2023.02.17, 2023.02.24, 2023.02.25 and 2023.02.28, gives more plausible results in terms of the location of the CME launch moments with respect to the sharp rises of temperature and intensity of radio emission above the background. Some interesting features of the CME behavior in these events were also revealed.

В статье [1] рассмотрены солнечные вспышки второй половины февраля 2023 года, однако сопровождавшие их КВМ подробно не исследовались. Целью данной работы является применение методов, изложенных в статье [2], для оценки кинематических характеристик этих СМЕ. В настоящее время основным прибором для наблюдения КВМ является коронограф LASCO [3], из которого, собственно, и берутся данные для обучения всех моделей зависимости положения КВМ от времени, поэтому стандартной прото-моделью является движение с постоянной скоростью [4]. Стандартная модель описана в статье [5]: она наследует линейную прото-модель [4], однако уже учитывает импульсную фазу ускорения КВМ. Эту модель будем обозначать буквами LP (Linear-Polynomial). Модель в статье [2] более детализирована, так как учитывает еще и переменное ускорение в пост-эруптивной фазе. Эту модель мы обозначаем как PB (Polynomial-Ballistic). Активной фазой вспышки мы будем называть максимальный по длине односвязный интервал, на котором температура выше 12МК. Согласно представлениям работы [1], в активной фазе вспышки ускоряются солнечные протоны, если наблюдается радиоизлучение на частотах 245–

15400 МГц (RSTN – Radio Solar Telescope Network), отмеченное в файлах YYYYMMDDEvents.txt [3], и жесткое рентгеновское излучение (HXR).

При сопоставлении результатов аппроксимации зависимости положения КВМ от времени в рамках LP- и РВ-моделей и вытекающих из них оценок времени старта мы использовали критерий пересечения фазы импульсного ускорения КВМ с активной фазой вспышки (далее – критерий пересечения фаз). Чем меньше аппроксимация удовлетворяет критерию пересечения фаз, тем, по нашим представлениям, она хуже. Для 4-х исследуемых событий получены результаты, показанные на рис. 1–4.

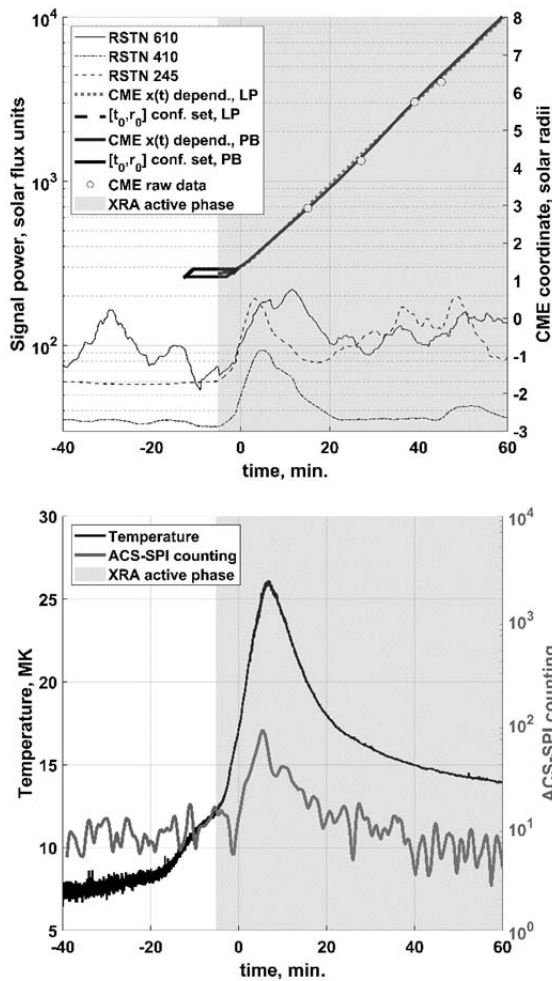


Рис. 1. Событие от 17 февраля 2023 года.

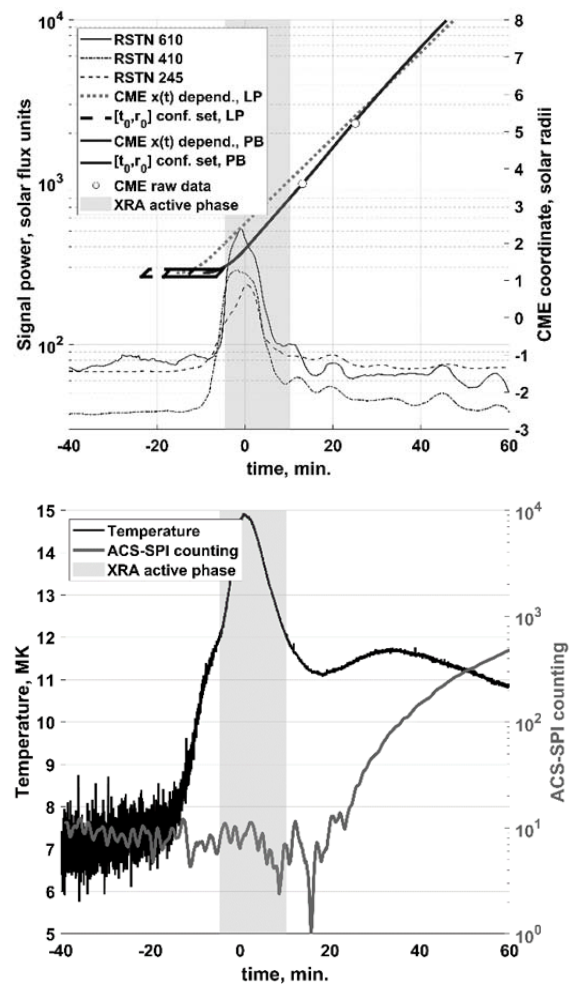


Рис. 2. Событие от 24 февраля 2023 года.

Верхние панели демонстрируют наложение LP- и РВ-аппроксимации на график интенсивности радиоизлучения на частотах 245–610 МГц, нижние панели показывают наложение временных профилей температуры и HXR >100 кэВ по данным ACS SPI (Anti-Coincidence Shield of the SPectrometer onboard INTEGRAL) [6]. Во время солнечных событий детектор ACS SPI регистрирует первичное и вторичное жесткое рентгеновское излучение. Монотонное возрастание темпа счета ASC SPI спустя более 10-ти

минут после начала солнечного HXR вызвано приходом солнечных протонов (вторичные HXR).

В событии 17 февраля 2023 года (рис. 1) мы видим, что LP- и PB-модели дают один и тот же результат. Момент старта KBM приходится на начало активной фазы вспышки и на перегиб графика температуры, сигнализирующий об изменении условий нагрева. В событии 24 февраля 2023 года (рис. 2) оценка LP-модели «промахивается» мимо правдоподобного значения времени старта KBM, так как фаза его ускорения в рамках LP-модели находится перед активной фазой вспышки (верхняя панель), а в рамках же PB-модели активная фаза вспышки включает фазу ускорения KBM.

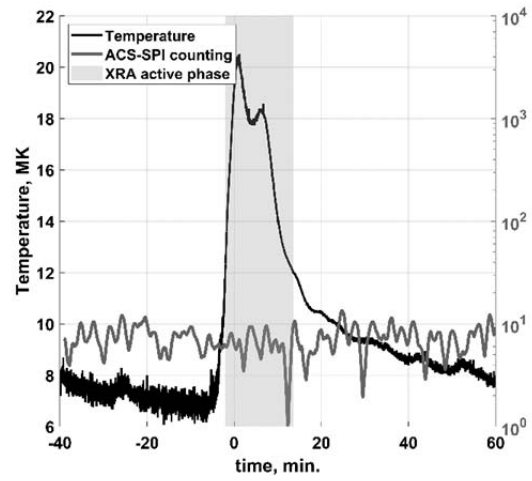
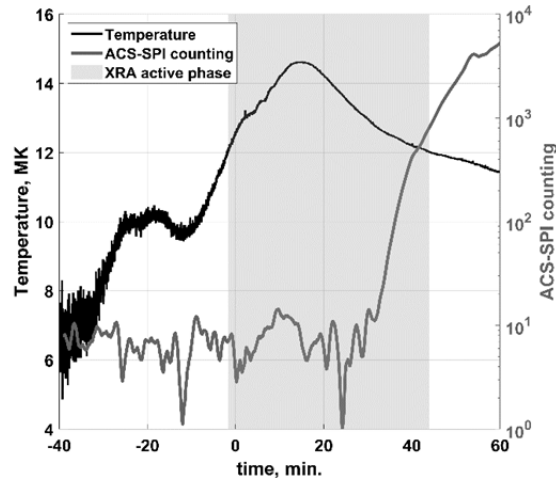
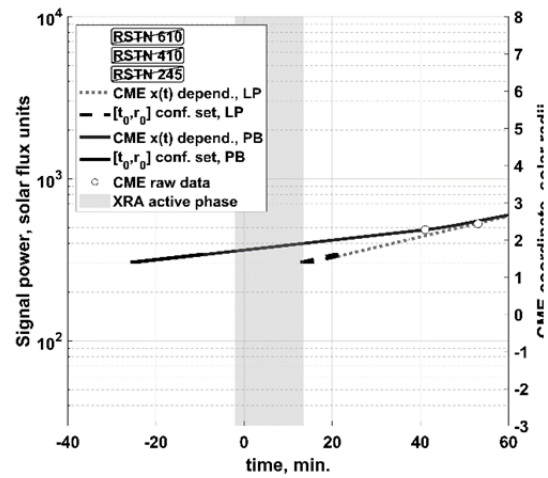
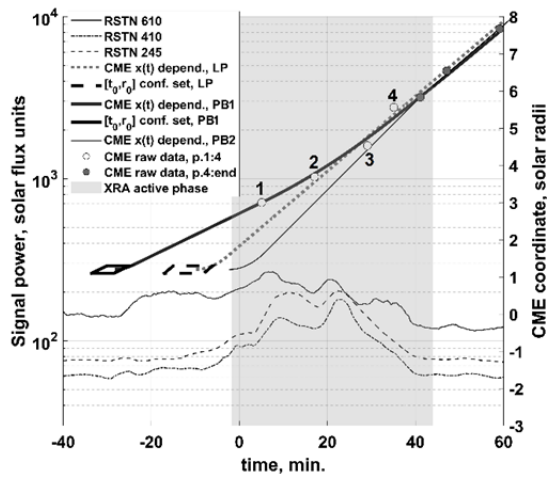


Рис. 3. Событие от 25 февраля 2023 года. **Рис. 4.** Событие от 28 февраля 2023 года.

Для события 25 февраля 2023 года (рис. 3), помимо LP- и PB-аппроксимации (PB1, толстая кривая), представлена PB-модель без первых четырех положений KBM (PB2, тонкая кривая). Видно, что LP-модель промахивается мимо данных LASCO. Точечная оценка времени старта KBM в рамках аппроксимации PB2 совпадает с началом активной фазы

вспышки, т.е. в данном случае срабатывает критерий пересечения фаз. Анализ кривых PB1 и PB2, по все видимости, показывает, что точки 1–2 соответствуют медленному КВМ, которого догоняет быстрый КВМ (точки 3–4), ускоренный вблизи максимума температуры. Это яркий пример процесса каннибализации, см. [6].

Событие 28 февраля 2023 года на рис. 4 – это пример медленного КВМ, который никогда не выйдет в межпланетное пространство. Он не мог быть порожден вспышкой вследствие ее развития на малых высотах. На это указывает также отсутствие радио-всплесков на частотах <1415 МГц, как это обсуждалось в работе [1].

Заметим, что в рамках концепции статьи [5], время старта КВМ совпадает с началом роста мягкого рентгена, которое в свою очередь приходится на перегиб графика температуры (нижняя панель всех рисунков). Совпадение точки перегиба, которая связана с началом роста меры эмиссии, что означает приток дополнительного вещества в процесс, и начала активной фазы вспышки достоверно указывают на момент старта КВМ. Это особенно ярко видно в событии 17 февраля 2023 года.

Таким образом, на примере событий второй половины февраля 2023 года показано, что полученные из PB-модели оценки времени старта КВМ более правдоподобны по критерию пересечения фаз, чем оценки в рамках стандартной LP-модели. Для события 25 февраля получены свидетельства последовательного ускорения двух КВМ и последующего поглощения быстрым КВМ медленного (процесс «каннибализации» [7]).

Литература

1. Струминский А.Б., Садовский А.М., Григорьева И.Ю. Источники солнечных протонов в событиях 24-25 февраля и 16-17 июля 2023 года // Косм. исслед., принято в печать, 2023
2. Ожередов В.А., Струминский А.Б., Григорьева И.Ю. Статистическая модель ускорения КВМ // G&A, принято в печать, 2023
3. Каталог данных LASCO: https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/
4. Описание процедуры линейной аппроксимации на сайте LASCO: https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/catalog_description.htm
5. Aschwanden M.J. Global Energetics in Solar Flares. XIII. <https://arxiv.org/pdf/2112.07759.pdf>
6. Данные по антисовпадетельной защите спектрометра на Integral: <http://isdc.unige.ch/~savchenk/spiacs-online/spiacs-ipnlc.pl>
7. Gopalswamy, N., Kaiser, M., Yashiro, S. et al. CME Cannibalism and Long-wavelength Radio Emission During the October-November 2003 Storms // American Geophysical Union. Spring Meeting 2004, abstract id. SH51A-07, 2004