

1. Струминский А.Б., Садовский А.М., Григорьева И.Ю. (ГАО РАН), Логачев Ю.И. (НИИЯФ МГУ)

2. Цикл работ 2020-2022 «Эруптивные вспышки как источник корональных выбросов массы и солнечных космических лучей»

3. Ссылки на публикации

[1] Struminsky A. B., Logachev Yu. I., Grigorieva I. Yu., and Sadovski A. M., «Two Types of Gradual Events: Solar Protons and Relativistic Electrons» // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2020, Vol. 60, No. 8, pp. 1057–1066. DOI: 10.1134/S001679322008023X

[2] Струминский А.Б., Григорьева И. Ю., Логачев Ю.И., Садовский А.М., «Солнечные электроны и протоны во вспышках с выраженной импульсной фазой» // *Известия РАН, Серия Физическая*, том 83, № 8, С. 1180. 2021. DOI: 10.31857/S0367676521080305

[3] Струминский А. Б., Григорьева И. Ю., Логачев Ю. И., Садовский А. М. «Связь между длительностью и величиной ускорения корональных выбросов массы» // *Геомагнетизм и Аэронамия*, том 61, № 6, с. 683–693, 2021. DOI: 10.31857/S001679402105014X.

[4] Григорьева И.Ю., Струминский А.Б. «Формирование источника солнечных космических лучей в эруптивных вспышках X6.9 9 августа 2011 года M5.1 17 мая 2012 года» // *АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ*, 2022, том 99, № 6, с. 486–495 DOI: 10.31857/S0004629922060044

4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Солнечная вспышка – это длительный процесс расхода магнитной энергии, запасенной в активной области на высотах до ~ 0.5 радиусов Солнца. При высотах менее ~ 0.1 радиуса Солнца силы магнитного поля хватает для удержания нагревающейся плазмы, и происходят вспышки, ограниченные по высоте, с ярко выраженными хромосферными эффектами в импульсной фазе. Эруптивные вспышки же реализуются при высотах более ~ 0.1 радиуса Солнца, когда силы магнитного поля недостаточно для удержания плазмы. Происходит эрупция, в предельном случае сверхзвуковой КВМ. Эруптивные вспышки могут, как сопровождаться эффектами в хромосфере, так и нет. Эруптивные вспышки сопровождаются в межпланетной среде КВМ и потоками СКЛ. Так как для ускорения КВМ до сверхзвуковой скорости необходимо время, сопоставимое со временем ускорения протонов до ~ 100 МэВ, то существует дилемма, ускоряются ли протоны непосредственно во вспышках, или на ударном фронте КВМ.

Проблема происхождения СКЛ не решена. Общепринятая гипотеза об ускорении солнечных протонов ударными волнами КВМ не дает ответа на вопрос об ускорении релятивистских солнечных электронов (1-10 МэВ), которые в межпланетном пространстве обладают сходными с протонами >100 МэВ временными профилями, но не могут быть ускорены до ~ 10 МэВ ударными волнами в МП. Также нет ответа на вопрос о взаимосвязи вспышек и КВМ, о необходимых параметрах ускорения КВМ до сверхзвуковых и сверхальтеровских скоростей.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

В цикл из четырех работ направлен на решение фундаментальных задач солнечной физики: взаимосвязь вспышек и корональных выбросов массы (КВМ); существование двух классов

вспышек – ограниченных (confined) и не ограниченных по высоте (eruptive –эруптивных); ускорение электронов и протонов в двух фазах вспышек - импульсной и постепенной; генерация длительного солнечного гамма >100 МэВ излучения. Решение этих задач необходимо для предсказания космическую погоду (радиационную обстановку и приход геоэффективных КВМ) в МП реальном времени.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность.

В [1] предложен общий подход к проблеме СКЛ, необходимость учета различия двух классов эруптивных вспышек. В [2] впервые высказана идея, что количественным параметром, разделяющим два класса эруптивных вспышек, являются производные по времени температуры (Т) и меры эмиссии (ЕМ) плазмы, излучающей SXR излучение. В работе [3] впервые рассмотрена связь с ускорением КВМ наблюдений солнечного плазменного радиоизлучения на частотах <1415 МГц и динамики dT/dt и dEM/dt , развит метод сшивки наблюдений КВМ на коронографе LASCO с необходимой величиной ускорения КВМ в ходе развития вспышки. В работе [4] методы и подходы [1-3] были применены к анализу двух выдающихся событий 24-го цикла солнечной активности. Такой комплексный подход к проблеме происхождения СКЛ применен впервые в мировой практике.

7. Полученные результаты и их значимость

Совместный анализ данных по возрастаниям интенсивности солнечных электронов и протонов после эруптивных вспышек, как с сильным, так и слабым электромагнитным излучением, позволяет утверждать, что электроны >1 МэВ и протоны >100 МэВ ускоряются стохастически на фоне ускорения КВМ. Удержание протонов за фронтом КВМ приводит к длительному гамма-излучению.

Из сравнения характеристик событий M5.1 17 мая 2012 и X6.8 9 августа 2011, рассмотренных в [4], следует, что длительность вспышечных процессов, а не их наблюдаемая интенсивность, определяла свойства КВМ и СКЛ в МП. Более длительный и более интенсивный выход солнечных протонов в МП в событии M5.1, по сравнению с X6.8, был обусловлен развитием вспышки только в короне, движением КВМ с меньшей величиной ускорения, и, соответственно, большей длительностью для достижения максимальной скорости. Более длительное ускорение КВМ предполагает и более длительные процессы энерговыделения (ускорения частиц) на фазе спада вспышки. Эти процессы происходят при плотностях плазмы и величинах магнитного поля недостаточных для генерации HXR и микроволнового излучения выше порога регистрации современных приборов.

По нашему мнению, полученные результаты, показывают возможность предсказания развития мощных события СКЛ и геоэффективных КВМ в реальном времени по патрульным наблюдениям солнечного SXR и радиоизлучения, потоков электронов >1 МэВ и протонов >100 МэВ в МП.