А. Т. САРСЕМБАЕВА, А. Т. САРСЕМБАЙ

(Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Республика Казахстан)

МОЩНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ КЛАССА X

14 МАЯ 2013 г.

Аннотация. В этой статье нами проведены статистические исследования вспышек, зарегистрированных 14 мая 2013 г. Мы определили несколько физических величин вспышек и оценили скорость пересоединения солнечных вспышек. Для определения физических параметров мы использовали снимки, полученные с ин-струмента AIA на борту спутника SDO на длинах волн $131\,\mathring{A}, 174\,\mathring{A}, 193\,\mathring{A}, 211\,\mathring{A}, 335\,\mathring{A}, 1600\,\mathring{A}, 1700\,\mathring{A}, 4500\,\mathring{A}$, SXT – снимки, HMI Magnetogram, SOLIS Chromospheric Magnetogram, GOES XRT-данные.

Ключевые слова: солнечные вспышки, альфвеновская скорость, скорость пересоединения.

Тірек сөздер: күн жарқылы, альфвен жылдамдығы, қайта ұштасу жылдамдығы.

Keywords: solar flares, Alfven waves, reconnection rate.

Введение. Солнечные вспышки – наиболее мощные нестационарные взрывообразные прояв-ления солнечной активности. Модели возникновения и развития солнечной вспышки, которая адекватно описывает причины ее возникновения и происходящие в ней процессы, до сих пор не существует. Общие соображения сводятся к следующему. Солнечная вспышка возникает как следствие быстрого выделения энергии в некоторой области солнечной атмосферы. В настоящее время считается, что эта энергия накапливается и хранится в форме магнитной энергии токовых систем, образующихся в солнечной атмосфере в результате конвективного переноса плазмы. Первичное энерговыделение, являющееся началом вспышки, связано с разрывом токовых систем в результате токовых неустойчивостей или воздействия соседних систем, например, при вторжении нового потока вещества, несущего магнитное поле в уже развитую плазменно-магнитную конфи-гурацию. Разрыв/взаимодействие токовых систем приводит к нагреву, движениям плазмы в магнитных структурах и возникновению сильных электрических полей. Часть магнитной энергии конвертируется в энергию ускоренных этими полями частиц – электронов, протонов и более тяжелых ядер [4].

Магнитное пересоединение играет важную роль в процессе энерговыделения солнечной вспышки. Скорость пересоединения является важной величиной, поскольку она определяет кри-тическое ограничение в модели пересоединения [1]. Она определяется как $M_A \in \frac{V_{in}}{V_A}$, где V_{in} – ско-рость втекания пересоединения, а V_A – Альфвеновская скорость. Это дает нормализованное зна-чение потока пересоединения в единицу времени. В стационарной модели пересоединения Свита и Паркера [3] скорость пересоединения $M_A = (\mathrm{Re}_m)^{-1/2}$, где $\mathrm{Re}_m = (V_A L / \eta)$ – магнитное число Рейнольдса,

определяемое скоростью Альфвена, η – магнитная диффузия, полученная из сопротивления Спитзера $\eta \sim 10^4 (\frac{T}{10^6 K})^{-3/2} см^2 с^{-1}$.

Анализ данных

Мониторинг солнечных вспышек в режиме реального времени осуществляет Геостационарный эксплуатационный спутник наблюдения за окружающей средой GOES. Данные о потоках электронов, протонов и рентгеновского излучения ведут спутники слежения GOES 11, GOES 13 и GOES 15 [2].

14 мая 2013 г. на Солнце была зарегистрирована серия мощных вспышек класса X. Вспышка произошла в 00:00 UT. Вспышка была зафиксирована в активной области 11748, продолжи-тельность – 4800 с. Всего в этой области Солнца произошло 3 вспышки. На рисунке 1 приведены снимки, полученные на борту спутника GHN в диапазонах XRT.

Для определения длины петель мы использовали SXT – снимки. Из SXT – данных мы получили значения для длины петель.

На рисунке 2 представлен общий поток рентгеновского излучения и электрона, который был зарегистрирован 14 мая 2013 г.

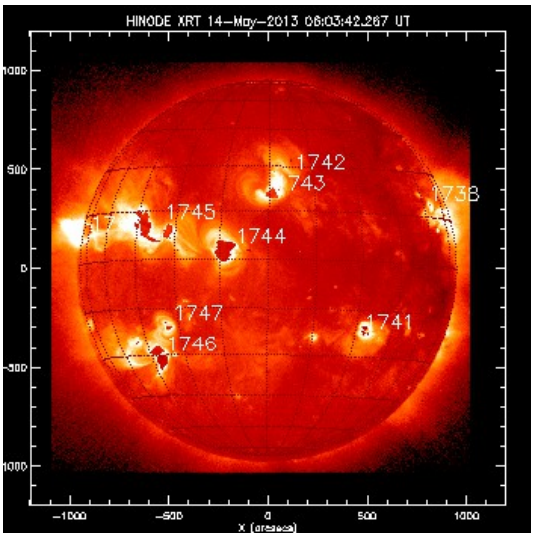
Величину энергии, выделяющейся при вспышке E_{flare}, можно объяснить магнитной энергией, запасенной в солнечной атмосфере [1]:

$$E_{flare} \sim E_{mag} = \frac{B_{cor}^2}{8\pi} L^3, \tag{1}$$

где L – характерный размер вспышки, B_{cor} – характерная плотность магнитного потока в короне, а коэффициент энерговыделения определяется следующим выражением:

$$\left| \frac{dE_{mag}}{dt} \right| \sim 2 \frac{B_{cor}^2}{4\pi} V_{in} L^2, \tag{2}$$

где V_{in} – скорость втекания плазмы. Таким образом, время, необходимое для втекания энергии, которая обеспечивает вспышку необходимой энергией, оценивается как шкала времени вспышки:



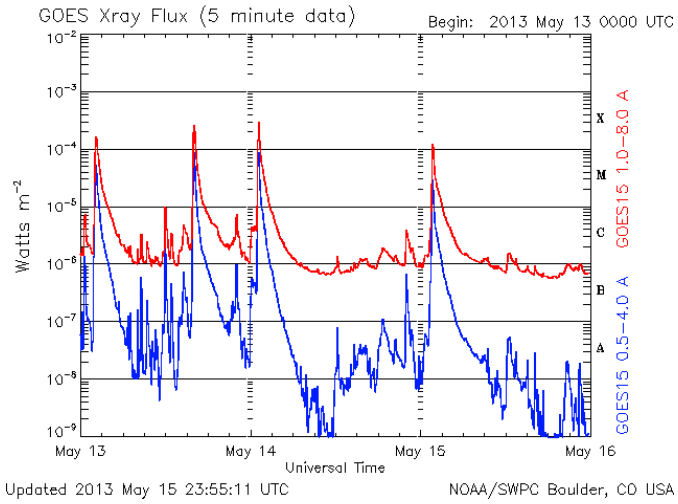


Рисунок 1 – Активная область 11748 в диапазонах XRT и общий поток протона, полученный в GOES 13 и GOES 15 [7]

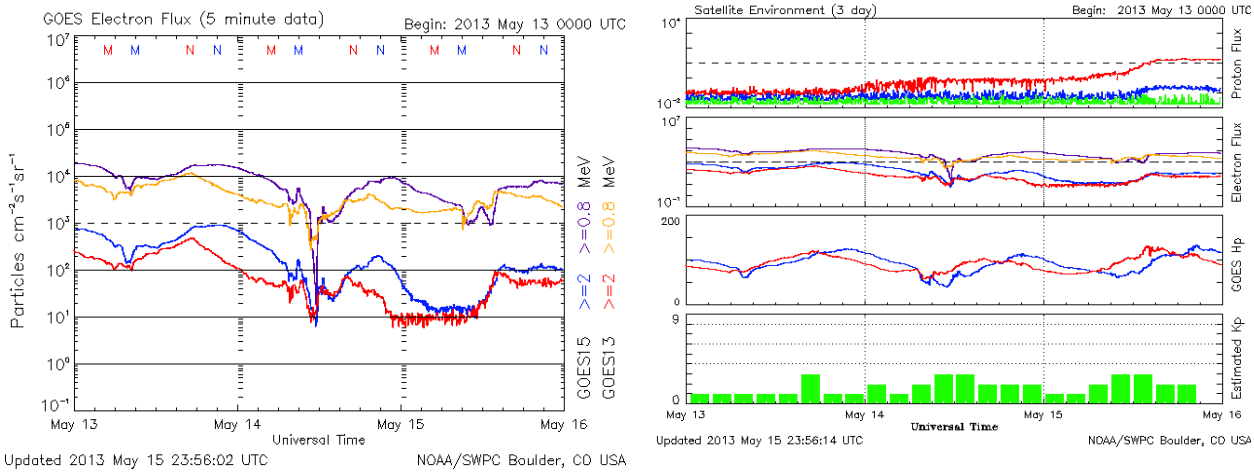


Рисунок 2 – Общий поток электрона и рентгеновского излучения Солнца, полученный в GOES 13 и GOES 15 [7]

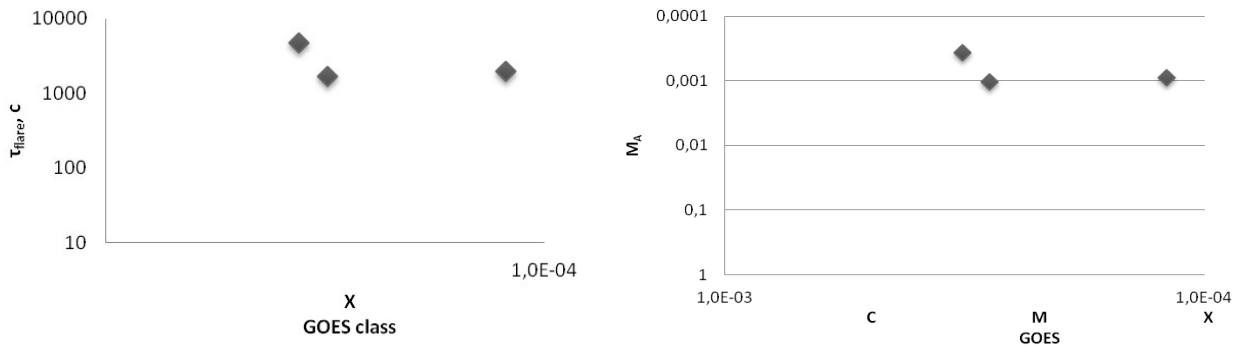
$$\tau_{flare} \sim E_{flare}\left(\left|\frac{dE_{mag}}{dt}\right|\right)^{-1} \sim \frac{L}{4V_{in}}. \qquad (3)$$

Используя эту шкалу времени, мы можем оценить скорость втекания V_{in} как

$$V_{in} \sim \frac{L}{4\tau_{flare}}. \qquad (4)$$

Чтобы вычислить скорость пересоединения в безразмерной форме $M_A \in \frac{V_{in}}{V_A}$, мы должны оценить Альфвеновскую скорость в области втекания: $V_A = \frac{B_{cor}}{(4\pi\rho)^{1/2}}$. Таким образом, мы можем измерить плотность короны ρ, пространственный масштаб вспышки L, плотность магнитного потока в короне B_{cor}, и шкалу времени солнечных вспышек τ_{flare}. Исходя из этого мы можем вычислить скорость втекания V_{in}, Альфвеновскую скорость V_A и скорость пересоединения M_A [5].

Результаты



а) б)

Рисунок 3 – а) соотношение шкалы времени τ_{flare} от GOES класс;

б) зависимость скорости пересоединения от класса вспышек GOES

Физические параметры солнечных вспышек

Активная область	GOES класс	$\tau(c)$	V_{in} (см с$^{-1}$)	V_A (см с$^{-1}$)	M_A	E_{flare}/τ (эрг с$^{-1}$)	$\lvert dE_{mag}/dt \rvert$ (эрг с$^{-1}$)
11748	X2.8	1680	$1{,}4\cdot10^{6}$	$1{,}4\cdot10^{9}$	$1{,}05\cdot10^{-3}$	$1{,}47\cdot10^{30}$	$9{,}8\cdot10^{29}$
11748	X3.2	4800	$5{,}2\cdot10^{5}$	$1{,}4\cdot10^{9}$	$3{,}7\cdot10^{-4}$	$5{,}2\cdot10^{29}$	$3{,}4\cdot10^{29}$

11748	X1.2	1980	$1{,}26\cdot10^{6}$	$1{,}4\cdot10^{9}$	$8{,}9\cdot10^{-4}$	$1{,}25\cdot10^{30}$	$8{,}3\cdot10^{29}$

Заключение. Сравнивая наши результаты с результатами Изобе [6], мы нашли, что в наших исследованиях скорость втекания V_{in} систематически меньше. Так как мы вычислили V_{in} как $L/(4\tau_{flare})$, полученный V_{in} в наших исследованиях является средним значением импульсной фазы вспышек. С другой стороны, Изобе вычислил V_{in}, используя максимальное значение коэффициента освобождения энергии в импульсной фазе вспышек. Таким образом, вычисленная нами скорость втекания V_{in} не может отражать стационарность скорости магнитного пересоединения в процессе пересоединения.

ЛИТЕРАТУРА

1 Nagashima K. Statistical study of the reconnection rate in solar flares observed with Yohkoh SXT // ApJ, 647, 654, 2006.

2 Sarsembayeva A.T. Definition of reconnection rate of solar flares registered in 2011-2012 years // Adv. Studies Theor. Phys. – 2012. – Vol. 6, N 28. – P. 1405-1408.

3 Petschek H.E. // The Physics of Solar Flares / Ed. W. N. Hess (Washington: NASA), 425, 1964.

4 Кочаров Г.Е. Ядерные реакции на Солнце. – М.: Знание, 1976. – 64 с.

5 Sarsembayeva A.T., Sarsembay A.T. 11 April 2013 solar flare: Magnetohydrodynamic processes // Известия НАН РК. Сер. физ.-мат. – 2013. – № 3.

6 Isobe H., Takasaki H., Shibata K. // ApJ, 2005, 632, 1184.

7. http://www.SolarMonitor.org.

REFERENCES

1 Nagashima K. Statistical study of the reconnection rate in solar flares observed with Yohkoh SXT, *ApJ*, 647, 654, **2006**.

2 Sarsembayeva A.T. Definition of reconnection rate of solar flares registered in 2011-2012 years. *Adv. Studies Theor. Phys*., Vol.6, **2012**, no.28, 1405-1408.

3 Petschek H.E. In The Physics of Solar Flares, ed. W. N. Hess. Washington: NASA, 425, **1964**.

4 Kocharov G.E. Jadernye reakcii na Solnce. M.: Znanie, **1976**, 64 s. (in Russ.)

5 Sarsembayeva A.T., Sarsembay A.T. 11 April 2013 solar flare: Magnetohydrodynamic processes. *Izvestija NAN RK*, serija fiziko-matematicheskaja. №3 (maj-ijun'), **2013**.

6 Isobe H., Takasaki H., Shibata K. **2005**, *ApJ*, 632, 1184.

7. http://www.SolarMonitor.org.

Резюме

А. Т. Сәрсембаева, А. Т. Сәрсембай

(Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы)

2013 ЖЫЛДЫҢ 14 МАМЫРЫНДАҒЫ Х КЛАСЫНДАҒЫ ҚУАТТЫ КҮН ЖАРҚЫЛЫ

Осы мақалада 2013 жылдың 14 мамырында тіркелген күн жарқылдарының статистикалық зерттеулері жүргізілді. Біз күн жарқылдарының физикалық мәндері мен қайта ұштасу жылдамдығын бағаладық. Физи-калық параметрді анықтау үшін SDO жер серігінің бортында AIA аспабында $131\,\mathring{A}, 174\,\mathring{A}, 193\,\mathring{A}, 211\,\mathring{A}, 335\,\mathring{A}, 1600\,\mathring{A}, 1700\,\mathring{A}, 4500\,\mathring{A}$ толқын ұзындығында алынған және SXT суреті, HMI Magnetogram, SOLIS Chromospheric Magnetogram, GOES XRT-деректері пайдаланылды.

Тірек сөздер: күн жарқылы, альфвен жылдамдығы, қайта ұштасу жылдамдығы.

Summary

A. T. Sarsembayeva, A. T. Sarsembay

(Al-Farabi Kazakh national university, Almaty, Republic of Kazakhstan)

POWERFUL SOLAR FLARE OF CLASS X 14 MAY 2013

In this paper, we performed statistical studies of solar flares registered in May 14, 2013. We have identified several physical quantities of solar flares and estimated reconnection rate of solar flares. To determine the physical parameters we used images taken with the AIA instrument on board SDO satellite at wavelengths $131\,\mathring{A}, 174\,\mathring{A}, 193\,\mathring{A}, 211\,\mathring{A}, 335\,\mathring{A}, 1600\,\mathring{A}, 1700\,\mathring{A}, 4500\,\mathring{A}$ SXT-pictures, HMI Magnetogram, SOLIS Chromospheric Magnetogram, GOES XRT-data.

Keywords: solar flares, Alfven waves, reconnection rate.

Поступила 15.10.2013г.