

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.63>

Volume 4, Number 332 (2020), 35 – 41

UDC 523.985

MRNTI 41.21.05; 41.21.19

A.T. Sarsembayeva<sup>1</sup>, M. Odsuren<sup>2</sup>, F.B. Belisarova<sup>1</sup>, A.T. Sarsembay<sup>3</sup>, M.E. Abyshev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics and Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>School of Engineering and Applied Sciences National University of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia;

<sup>3</sup>School-Lyceum №250 named after T.Komekbayev, Karmakchi area, Kyzylorda region, Kazakhstan.

E-mail: sarsembaeva.a@kaznu.kz; odsuren@seas.num.edu.mn; farida.belisarova@kaznu.kz;  
cronus87\_87@mail.ru; medeu.abishev@kaznu.kz

## SOLAR ACTIVITY MONITORING FOR THE PERIOD MARCH 20-25, 2019

**Abstract.** During a large solar flare, the flux of hard electromagnetic radiation from the sun increases many times. In the ultraviolet (UV), X-ray and gamma rays that are invisible to us, our Sun becomes “brighter than a thousand suns”. Radiation reaches the Earth’s orbit eight minutes after the solar flare. In a few tens of minutes, flow of charged particles arrive, accelerated to gigantic energies, and after two or three days - huge clouds of solar plasma. The huge interest in solar flares is not accidental. Large flares have a strong effect on near-Earth outer space. Particle and radiation flows are dangerous for astronauts. In addition, they can damage the electronic devices of spacecraft, disrupt their work. UV and X-rays from a flash suddenly increase ionization in the upper atmosphere of the Earth, in the ionosphere. This can lead to radio communications disruptions, malfunctions of the radio navigation devices of ships and aircraft, radar systems, and long power lines.

The source of flare energy is a magnetic field in the atmosphere of the Sun. It determines the morphology and energy of the active region where the flare will occur. Here, the field energy is much larger than the thermal and kinetic energy of the plasma. During a solar flare, the excess field energy is rapidly converted to particle energy and plasma changes. The physical process that provides this transformation is called magnetic reconnection.

In this paper was monitored solar flares registered in the period 20-25 March 2019. We measure physical parameters of 2 flares, such as the temporal scale, size, and magnetic flux density, and find that the sizes of flares tend to be distributed more broadly as the GOES class becomes weaker and that there is a lower limit of magnetic flux density that depends on the GOES class. We also made a brief analysis of solar flares registered in these days, also has shown the duration of time and peak of solar flares in Universal time.

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 Å, 174 Å, 193 Å, 211 Å, 335 Å, 1600 Å, 1700 Å, 4500 Å, SXT - pictures, HMI Magnetogram, SOLIS Chromospheric Magnetogram, GOES XRT-data. We estimate reconnection inflow velocity, coronal Alfvén velocity, and reconnection rate using the observed values. The inflow velocities are distributed from a few km s<sup>-1</sup> to several tens of km s<sup>-1</sup>, and the Alfvén velocities in the corona are in the range from 10<sup>3</sup> to 10<sup>4</sup> km s<sup>-1</sup>. Hence, the reconnection rate is 10<sup>-3</sup>. We find that the reconnection rate in a flare tends to decrease as the GOES class of the flare increases.

**Keywords:** solar flares, X-rays, reconnection rate.

**Introduction.** Solar flares can be classified according to their brightness in the x-ray wavelengths. There are three categories: X-class flares are big; they are major events that can trigger radio blackouts around the whole world and long-lasting radiation storms in the upper atmosphere. M-class flares are medium-sized; they generally cause brief radio blackouts that affect Earth's polar regions. Minor radiation storms sometimes follow an M-class flare. Compared to X- and M-class events, C-class flares are small with few noticeable consequences here on Earth [1-4].

Monitoring of solar flares in a real time is carried out by the Geostationary Operational Environmental Satellite or GOES [5]. Data on the electrons, protons, and X-rays were taken from satellites GOES 13, GOES 14 and GOES 15 [5-6].

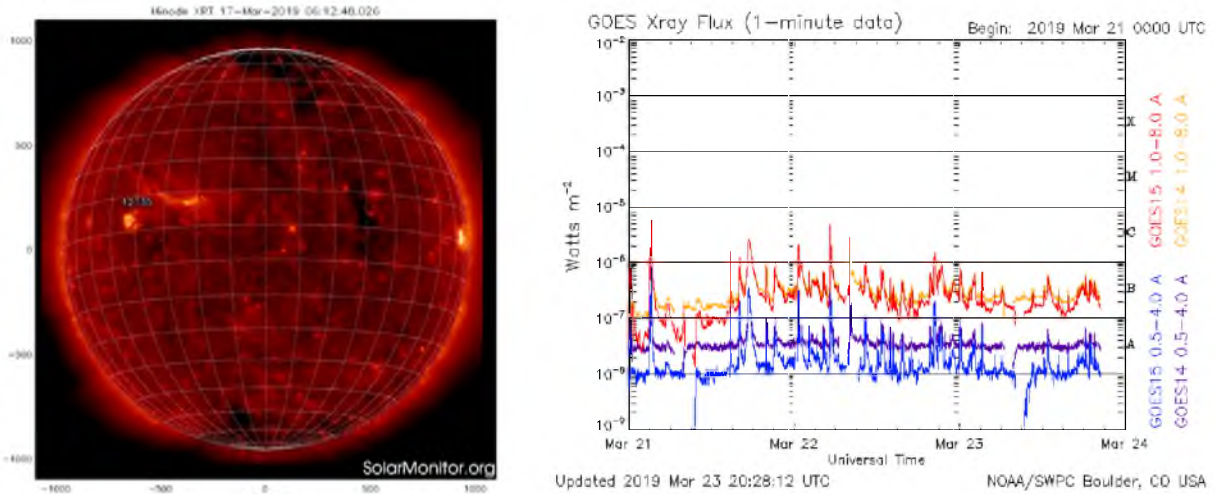


Figure 1 - Active area 12735 (XRT Hinode) and the total X-ray flux obtained in GOES 13 and GOES 15 [5]

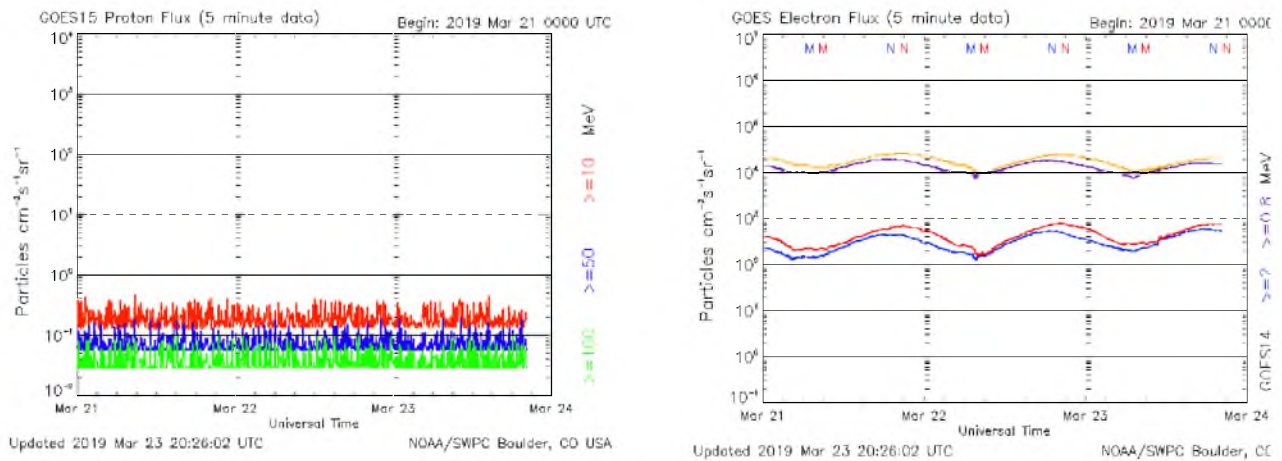


Figure 2 - Total proton and electron flux obtained in GOES 13 and GOES 15 [5]

On March 20, 2019, on the Sun, 1 class C and 8 class B flares were registered. In total, 2 classes are distinguished in the scale of solar flares: A, B, C, M and X, each subsequent of which exceeds the previous power by 10-100 times. The event, more accurately estimated as B1.1, occurred at night and observed for about 3 minutes with a maximum at 00:20 UT [6].

On March 21, at 00:04 UT recorded the first flare of class B8.0 with a duration of 9 minutes from the highs of 00:13 UT on the Sun. In total, 7 solar flares of class B and 5 solar flares of class C were registered.

On 22 March midnight, there was an eruption of class C2.1 at 00:27 UT and was observed for about 7 minutes with a maximum of 00:34 UT. In total, 17 flares of class B and 6 flares of class C were registered.

On March 23 around 01:16 on World time there was a fairly strong release of solar matter into space. The solar flare is estimated as B3.2 and its maximum was observed at 01:31 Universal on world time. In total, 19 solar flares of class B were registered.

On March 24, 2019, around 02:28 GMT, another solar flare of class B8.6 was registered and was observed for about 5 minutes with a maximum at 02:33 UT. In total, 6 flares of class B were registered.

On March 25, at 06:07, the first M class flare B1.5 was registered. The event occurred in the active area of 12736 and was observed for about 8 minutes with a maximum at 06:15 UT. In total, 7 flares of class B were registered.

Table 1 - Solar flares registered in the period from 20 to 25 March 2019 [6]

Date	X-ray class	Start time (hhmm)	Maximim time (hhmm)	End time (hhmm)
1	2	3	4	5
20/03/19	B1.1	00:17	00:20	00:22
	B6.1	07:07	07:14	07:16
	C4.8	10:35	11:18	11:34
	B4.4	12:19	12:25	12:28
	B1.0	13:06	13:09	13:14
	B1.0	13:40	13:43	13:49
	B2.1	14:23	14:32	14:48
	B3.2	17:36	17:59	18:12
B1.8	21:19	21:24	21:32	
21/03/19	B8.0	00:04	00:13	00:19
	C1.2	02:52	03:00	03:04
	C5.6	03:08	03:12	03:15
	B1.6	07:56	07:59	08:01
	B1.4	09:45	10:12	10:22
	B1.1	11:17	11:21	11:31
	C1.5	14:40	14:44	14:47
	B2.2	15:42	15:45	15:47
	C1.2	15:58	16:01	16:03
	C2.6	17:13	17:21	17:39
B8.8	19:54	19:59	20:02	
B9.9	20:54	21:13	21:19	
22/03/19	C2.1	00:27	00:34	00:38
	B6.7	02:00	02:06	02:08
	B6.5	04:11	04:15	04:20
	C4.8	05:05	05:14	05:17
	C2.6	07:54	08:01	08:04
	C1.3	08:13	08:19	08:22
	C1.0	10:14	10:19	10:25
	B3.5	11:54	11:58	12:04
	B3.7	12:10	12:13	12:15
	B8.5	12:31	12:39	12:42
	B7.0	12:46	12:54	12:57
	B4.9	13:48	13:52	13:55
	B3.5	14:13	14:18	14:21
	B2.1	14:41	14:44	14:46
	B4.4	15:24	15:34	15:55
	B2.3	16:38	16:42	16:46
	B3.6	16:55	17:03	17:07
	B6.3	19:29	19:47	19:56
	C1.4	20:16	20:23	20:33
	B9.7	20:52	21:19	21:31
B9.8	21:11	21:19	21:26	
B3.2	22:35	22:39	22:42	
B8.1	23:57	00:04	00:15	
23/03/19	B3.2	01:16	01:31	01:43
	B5.0	01:50	01:53	02:01
	B6.1	02:07	02:12	02:14
	B2.5	02:57	03:02	03:05
	B6.6	03:10	03:17	03:23
	B3.0	05:06	05:09	05:11
	B3.4	06:02	06:10	06:16
	B2.7	10:33	10:40	10:44
	B3.1	12:10	12:16	12:22
	B5.7	12:41	12:49	13:01
	B3.0	14:18	14:22	14:24
	B5.7	18:14	18:17	18:20
	B4.5	18:49	18:53	18:55
	B4.5	18:57	19:00	19:15
	B2.1	20:48	20:51	20:54
	B8.9	21:09	21:20	21:27
	B5.3	22:04	22:11	22:19
B8.0	22:36	22:39	22:41	
B9.9	23:30	23:59	00:17	

Continuation of the table				
1	2	3	4	5
24/03/19	B8.6	02:28	02:33	02:51
	B4.8	04:35	04:39	04:44
	B4.3	07:13	07:20	07:27
	B1.8	08:03	09:22	09:33
	B2.6	14:32	14:37	14:43
	B9.6	19:16	19:31	19:40
25/03/19	B1.5	06:07	06:15	06:27
	B2.2	06:52	07:23	07:27
	B1.3	09:42	09:47	09:53
	B1.7	11:29	11:34	11:44
	B3.6	13:08	14:10	14:35
	B4.1	18:03	18:11	18:25
	B3.4	21:26	21:48	22:23

**Data analysis.** In the energy release process in solar flares, magnetic reconnection is generally considered to play a key role. The reconnection rate is an important quantity, because it puts critical restrictions on the reconnection model. To evaluate the reconnection rate in nondimensional form,  $M_A \equiv \frac{V_{in}}{V_A}$ , we must estimate the Alfven velocity in the inflow region:  $V_A = \frac{B_{cor}}{(4\pi\rho)^{1/2}}$ . Hence, if we measure the coronal density  $\rho$ , the spatial scale of the flare  $L$ , the magnetic flux density in the corona  $B_{cor}$ , and the timescale of flares  $\tau_{flare}$ , we can calculate inflow velocity  $V_{in}$ , Alfven velocity  $V_A$ , and reconnection rate  $M_A$  [7].

Monitoring of solar flares in real time is performed by the Geostationary Operational Surveillance Satellite GOES. Electron, proton and X-ray fluxes are tracked by the satellites GOES 11, GOES 13 and GOES 15.

In figure 1 shown the images obtained on the board of Hinode satellite in XRT. To determine the length of the loops, we used SXT images. From the SXT data, we get values for the length of the loops.

In figure 2 shows the total flux of X-rays and an electron, which was registered on March 21-24, 2019.

**Results.** Using the method described in [7-9], we analyzed solar flare that have been registered on March 21-22, 2019. Examined the dependence of the reconnection rate from GOES class of solar flares. The temperature were obtained in SunPY using the methods of White et al. [10-11] who used the CHIANTI atomic physics database to model the response of the ratio of the short (0.5-4 angstrom) to long (1-8 angstrom) channels of the XRSs onboard various GOES satellites [12-13]. Table 2 summarizes the parameters of the flares obtained in this work. Figure 3 shows the dependence of the reconnection rate from timescale.

Table 2 - Parameters of the flares

Parameter	2019 Mar 21 19:54 B8.8 Flare	2019 Mar 22 05:05 C4.8 Flare
$\tau(s)$	300	540
$L (10^9 \text{ cm})$	$7.25 \times 10^9$	$6.525 \times 10^9$
$T (10^6 \text{ K})$	10	16
$V_{in}(cm \text{ s}^{-1})$	$6.04 \times 10^6$	$3.02 \times 10^6$
$V_A(cm \text{ s}^{-1})$	$6.76 \times 10^8$	$8.56 \times 10^8$
$M_A$	$8.93 \times 10^{-3}$	$3.52 \times 10^{-3}$
$E_{flare} / \tau (\text{ergs s}^{-1})$	$7.29 \times 10^{29}$	$4.72 \times 10^{29}$
$ dE_{mag} / dt  (\text{ergs s}^{-1})$	$4.86 \times 10^{29}$	$3.14 \times 10^{29}$

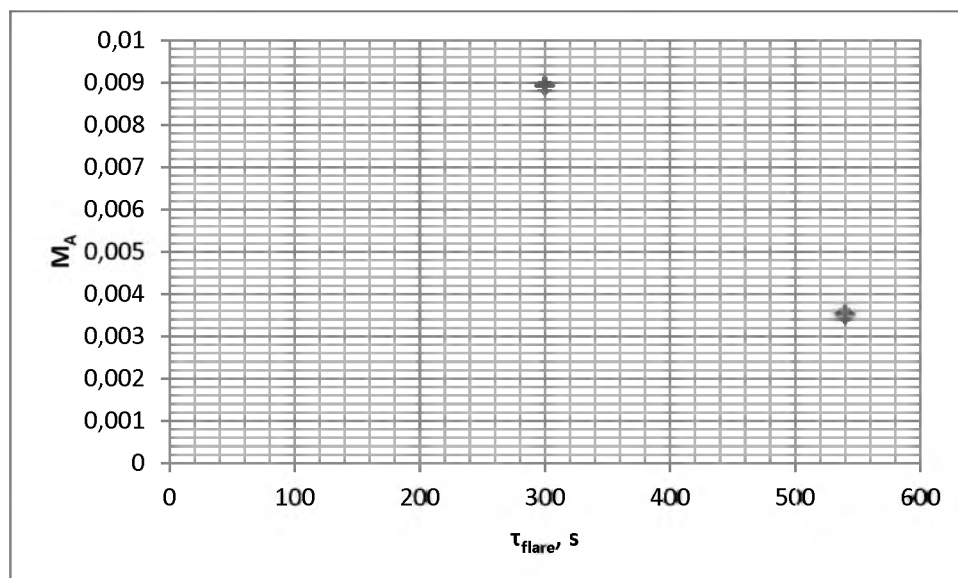


Figure 3 - Reconnection rate  $M_A$  plotted against timescale

**Conclusion.** During the period from 20 to 25 March 2019, 64 B class flares and 12 C class flares were registered. The solar flares are recorded by a network of space observatories: telescopes on the board of American SDO observatory, LASCO coronagraphs (European SOHO station), and by both STEREO satellites (USA), which are now at a giant distance of hundreds of millions of kilometers from our planet.

The values of reconnection rate is distributed in the range  $10^{-3}$ . Here, the value of the reconnection rate decreases as the GOES class increases. The value of the reconnection rate obtained in this study is within 1 order of magnitude from the predicted maximum value of the Petschek model [14].

А.Т. Сарсембаева<sup>1</sup>, М. Одсурен<sup>2</sup>, Ф.Б. Белисарова<sup>1</sup>, А.Т. Сарсембай<sup>3</sup>, М.Е. Абишев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физика-техникалық факультеті, Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ, Қазақстан;

<sup>2</sup>Инженерлік және қолданбалы ғылымдар институты, Монғолия Ұлттық Университеті, Улан-Батор;

<sup>3</sup>Т. Көмекбаев атындағы №250 мектеп-лицейі, Қармақшы ауданы, Қызылорда облысы, Қазақстан

### 2019 ЖЫЛДЫҢ 20-25 НАУРЫЗ АРАЛЫҒЫНДАҒЫ КҮН ЖАРҚЫЛЫНЫҢ БАҚЫЛАУЫ

**Аннотация.** Күн жарқылы кезінде күн сәулесінен қатты электромагниттік сәулелену ағыны бірнеше есе артады. Бізге көрінбейтін ультракүлгін (УК), рентген және гамма-сәулелерде біздің Күн «мың күннен де артық жарқырайды». Радиация Жер орбитасына сегіз минут өткен соң жетеді. Бірнеше ондаған минут ішінде зарядталған бөлшектердің ағындары пайда болады, олар үлкен энергияға айналады, ал екі-үш күннен кейін - күн плазмасындағы үлкен бұлттар келіп жетеді. Күн жарқылына деген үлкен қызығушылық кездейсоқ емес. Үлкен Күн жарқылы Жердің жақын кеңістігіне қатты әсер етеді. Бөлшек және радиациялық ағындар гарышкерлер үшін қауіпті. Сонымен қатар, олар гарыш аппараттарының электрондық құрылғыларына нұқсан келтіріп, жұмысын істен шығаруы мүмкін. Күн жарқылынан ультракүлгін және рентген сәулелері кенеттен жердің жоғарғы атмосферасында, ионосферада иондануды күшейтеді. Бұл радио байланысының үзілуіне, кемелер мен әуе кемелерінің, радиолокациялық жүйелер мен электр желілерінің навигациялық құрылғыларының ақауларына әкелуі мүмкін.

Күн жарқылының энергиясының көзі - күн атмосферасындағы магнит өрісі. Ол Күн жарқылы болатын белсенді аймақтың морфологиясы мен энергиясын анықтайды. Мұнда өріс энергиясы плазманың жылу және кинетикалық энергиясынан әлдеқайда үлкен. Күн жарқылы кезінде артық өріс энергиясы бөлшектердің энергиясына тез айналады және плазманың өзгерісіне алып келеді. Бұл түрленуді қамтамасыз ететін физикалық процессті магниттік қайта ұштасу деп атайды.

Осы мақалада 2019 жылдың 20-25 наурыз аралығында тіркелген күн жарқылдарының бақылауы жүргізілді. Бұл мақалада екі күн жарқылының физикалық параметрлерін өлшедік, ол негізінен уақыт шкаласы, күн жарқылының өзіндік өлшемін және магнит ағынының тығыздығын, және GOES класы әлсірей

бастаған сайын күн жарқылының өзіндік өлшемдері кеңірек таралуға бейім болатындығын анықтадық, және бұл жерде GOES класына тәуелді магнит ағынының тығыздығының төменгі шегі болатыны анықталды. Біз сондай-ақ 20-25 наурыз аралығында тіркелген күн жарқылының қысқаша талдауын жүргіздік, сонымен қатар күн жарқылының уақыт шкаласының ұзақтылығы және Бүкіл әлемдік уақытта көрсетілген максимумы анықталды.

Біз күн жарқылдарының бірнеше физикалық мәндері мен қайта ұштасу жылдамдығын есептеп талқыладық. Физикалық параметрлерді анықтау үшін SDO спутнигінің бортында AIA инструментінің 131 Å, 174 Å, 193 Å, 211 Å, 335 Å, 1600 Å, 1700 Å, 4500 Å толқын ұзындығында алынған және SXT суреті, HMI Magnetogram, SOLIS Chromospheric Magnetogram, GOES XRT- деректері пайдаланылды. Байқау нәтижесінде алынған мәндерді қолдана отырып, біз магниттік қайта ұштасудың түсу жылдамдығын, короналық Альфвен жылдамдығын және магниттік қайта ұштасуды есептедік. Ағынның түсу жылдамдығы бірнеше км с<sup>-1</sup>-ден бірнеше ондаған км-ге с<sup>-1</sup>-ге дейін таралған, ал коронадағы Альфвен жылдамдығы 10<sup>3</sup>-тен 10<sup>4</sup> км с<sup>-1</sup> диапазон аралығын құрайды. Сонымен, магниттік қайта ұштасу жылдамдығы 10<sup>-3</sup> мәнін құрайды. Күн жарқылындағы магниттік қайта ұштасу жылдамдығы төмендеген сайын GOES класы жоғарылайтыны анықталды.

Түйін сөздер: күн жарқылы, рентген сәулесі, қайта ұштасу жылдамдығы.

А.Т. Сарсембаева<sup>1</sup>, М. Одсурен<sup>2</sup>, Ф.Б. Белисарова, А.Т. Сарсембай, М.Е. Абишев

<sup>1</sup>Физико-технический факультет, КазНУ им. аль-Фараби, Казакстан;

<sup>2</sup>Школа инженерных и прикладных наук, Национальный университет Монголии, Улан-Батор;

<sup>3</sup>Школа-лицей №250 им. Т. Комекбаева, Кармакчинский район, Кызылординская область, Казакстан

#### МОНИТОРИНГ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В ПЕРИОД 20-25 МАРТА 2019 ГОДА

**Аннотация.** Во время большой вспышки поток жесткого электромагнитного излучения Солнца возрастает во много раз. В невидимых для нас ультрафиолетовых (УФ), рентгеновских и гамма-лучах наше Солнце становится "ярче тысячи солнц". Излучение достигает орбиты Земли через восемь минут после начала вспышки. Через несколько десятков минут приходят потоки заряженных частиц, ускоренных до гигантских энергий, а через двое-трое суток - огромные облака солнечной плазмы. Огромный интерес к вспышкам на Солнце не случаен. Большие вспышки оказывают сильное воздействие на околоземное космическое пространство. Потоки частиц и излучения опасны для космонавтов. Кроме того, они могут повредить электронные приборы космических аппаратов, нарушить их работу. УФ- и рентгеновские лучи от вспышки внезапно увеличивают ионизацию в верхних слоях атмосферы Земли, в ионосфере. Это может приводить к нарушениям радиосвязи, сбоям в работе радионавигационных приборов кораблей и самолетов, радиолокационных систем, длинных линий электроснабжения.

Источник энергии вспышки - магнитное поле в атмосфере Солнца. Оно определяет морфологию и энергетику той активной области, где произойдет вспышка. Здесь энергия поля много больше, чем тепловая и кинетическая энергия плазмы. Во время вспышки происходит быстрое превращение избыточной энергии поля в энергию частиц и изменения плазмы. Физический процесс, обеспечивающий такое превращение, называется магнитным пересоединением.

В этой статье был проведен мониторинг солнечных вспышек зарегистрированных в период 20-25 марта 2019 года. Мы измерили физические параметры двух вспышек, в основном шкалу времени, характерный размер вспышек и плотность магнитного потока, и обнаружили, что характерные размеры вспышек имеют тенденцию распределяться более широко, поскольку класс GOES становится слабее и здесь существует нижний предел плотности магнитного потока, которая зависит от класса GOES. Мы также сделали краткий анализ солнечных вспышек зарегистрированные в эти дни, а также показана продолжительность времени вспышки и ее максимум по Всемирному времени.

Мы определили несколько физических величин вспышек и оценили скорость пересоединения солнечных вспышек. Для определения физических параметров мы использовали снимки, полученные с инструмента AIA на борту спутника SDO на длинах волн 131 Å, 174 Å, 193 Å, 211 Å, 335 Å, 1600 Å, 1700 Å, 4500 Å, SXT - снимки, HMI Magnetogram, SOLIS Chromospheric Magnetogram, GOES XRT-данные. Используя наблюдаемые значения, мы оценили скорость притока магнитного пересоединения, корональную альфвеновскую скорость и магнитное пересоединение. Скорости притока распределяются от нескольких км с<sup>-1</sup> до нескольких десятков км с<sup>-1</sup>, а альфвеновские скорости в короне находятся в диапазоне от 10<sup>3</sup> до 10<sup>4</sup> км с<sup>-1</sup>. Следовательно, магнитное пересоединение составляет 10<sup>-3</sup>. Мы находим, что скорость магнитного пересоединения в вспышке имеет тенденцию уменьшаться с увеличением класса GOES.

**Ключевые слова:** солнечная вспышка, рентгеновское излучение, скорость пересоединения.



**Information about authors:**

Sarsembayeva Aiganym - PhD, Senior lecturer, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University, Email: sarsembayeva.a@kaznu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-3003-0038>;

Odsuren Myagmarjav - Associate professor, School of Engineering and Applied Sciences and Nuclear Research Center, National University of Mongolia, Email: odsuren@seas.num.edu.mn; <https://orcid.org/0000-0003-2756-4909>;

Belisarova Farida - Associate professor, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University, Email: farida.belisarova@kaznu.kz; <https://orcid.org/0000-0003-0531-3818>;

Sarsembay Akmaral - B.Sc., High school teacher, School-Lyceum No250 named after T.Komekbayev, Email: cronus87\_87@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1066-8755>;

Abyshev Medeu - Associate professor, Head of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University, Email: medeu.abishev@kaznu.kz; <http://orcid.org/0000-0003-3602-6934>

**REFERENCES**

- [1] Sweet P.A. Electromagnetic Phenomena in Cosmical Physics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1958. P.123.
- [2] Parker E.N. Sweet's mechanism for merging magnetic fields in conducting fluids // J. Geophys. Res. 1957. Vol.62. P.509-520.
- [3] Parker E.N. The solar flare phenomenon and theory of reconnection and annihilation of magnetic fields // Astrophys. J. Supp. 1963. Vol.8. P.177-211.
- [4] Garcia, H. A.: 2004, Space Weather 2, S06003.
- [5] <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/satellite/goes/>
- [6] <ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/space-weather/solar-data/solar-features/solar-flares/x-rays/goes/>
- [7] Isobe H., Takasaki H., Shibata K. Measurement of the Energy Release Rate and the Reconnection Rate in Solar Flares // ApJ. 2005. Vol. 632. P.1184.
- [8] A.T. Sarsembayeva. Definition of reconnection rate of solar flares registered in 2011-2012 years. Adv. Studies Theor. Phys., Vol.6, 2012, no.28, 1405-1408.
- [9] Sarsembayeva A.T., et al. 26 January, 2019 solar flares diagnostics based on the soft x-ray emission measures. NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Physical and Mathematical. №2, 2019. P.41-46. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1726.10>
- [10] Feldman, U. and Widing, K. G.: 2003, Space Sci Rev. 107, 665.
- [11] White, S. M., Thomas, R. J., & Schwartz, R. A. 2005, Sol. Phys., 227, 231.
- [12] The Sunpy Community et al. 2015, Comput. Sci. Disc., 8, 014009.
- [13] Sarsembayeva A.T., et al. May 5, 2015 solar flare data analysis in SUNPY. NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Physical and Mathematical. №2, 2019. P.37-41. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1726.9>
- [14] Petschek H.E. Magnetic field annihilation // Physics of Solar Flares / ed. by W.N. Hess. NASA SP-50. Washington: DC, 1964. P.425-439.