

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Қазақстан Республикасының
Ғылым Академиясының
Әл-Фараби атындағы
Қазақ ұлттық университетінің

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
Al-Farabi Kazakh
National University

SERIES
PHYSICO-MATHEMATICAL

3 (331)

MAY – JUNE 2020

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р ы
ф.-м.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі
Ғ.М. Мұтанов

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Жұмаділдаев А.С. проф., академик (Қазақстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Қазақстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Өмірбаев У.У. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Жүсіпов М.А. проф. (Қазақстан)
Жұмабаев Д.С. проф. (Қазақстан)
Асанова А.Т. проф. (Қазақстан)
Бошкаев К.А. PhD докторы (Қазақстан)
Сұраған Д. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Қырғыстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Белорусь)
Пашаев А. проф., академик (Әзірбайжан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде
01.06.2006 ж. берілген №5543-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219, 220 бөл.; тел.: 272-13-19; 272-13-18,
<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2020

Типографияның мекенжайы: «NurNaz GRACE», Алматы қ., Рысқұлов көш., 103.

Главный редактор
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК
Г.М. Мутанов

Редакционная коллегия:

Джумадильдаев А.С. проф., академик (Казахстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Казахстан)
Жангаев Ж.Ш. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Умирбаев У.У. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Жусупов М.А. проф. (Казахстан)
Джумабаев Д.С. проф. (Казахстан)
Асанова А.Т. проф. (Казахстан)
Бошкаев К.А. доктор PhD (Казахстан)
Сураган Д. чл.-корр. (Казахстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Кыргызстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Беларусь)
Пашаев А. проф., академик (Азербайджан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

«Известия НАН РК. Серия физика-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов
Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219, 220; тел.: 272-13-19; 272-13-18,

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2020

Адрес типографии: «NurNaz GRACE», г. Алматы, ул. Рыскулова, 103.

Editor in chief

doctor of physics and mathematics, professor, academician of NAS RK

G.M. Mutanov

Editorial board:

Dzhumadildayev A.S. prof., academician (Kazakhstan)
Kalmenov T.Sh. prof., academician (Kazakhstan)
Zhantayev Zh.Sh. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Umirbayev U.U. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Zhusupov M.A. prof. (Kazakhstan)
Dzhumabayev D.S. prof. (Kazakhstan)
Asanova A.T. prof. (Kazakhstan)
Boshkayev K.A. PhD (Kazakhstan)
Suragan D. corr. member. (Kazakhstan)
Quevedo Hernando prof. (Mexico),
Dzhunushaliyev V.D. prof. (Kyrgyzstan)
Vishnevskiy I.N. prof., academician (Ukraine)
Kovalev A.M. prof., academician (Ukraine)
Mikhalevich A.A. prof., academician (Belarus)
Pashayev A. prof., academician (Azerbaijan)
Takibayev N.Zh. prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief.
Tiginyanu I. prof., academician (Moldova)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty).

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006.

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19; 272-13-18,

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2020

Address of printing house: «NurNaz GRACE», 103, Ryskulov str, Almaty.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.38>

Volume 3, Number 331 (2020), 66 – 72

UDC 523.62

G.S. Minasyants¹, T.M. Minasyants¹, V.M. Tomozov²

¹Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan;

²Institute of Solar-Terrestrial Physics, Irkutsk, Russia.

E-mail: gennadii_minasya@mail.ru, tamara@aphi.kz, tom@iszf.irk.ru

**FEATURES OF MAGNETIC STRUCTURE
OF SUNSPOTS GROUPS AT DEVELOPMENT
OF SUSTAINED FLUXES HIGH ENERGY GAMMA RAY**

Abstract. The research of magnetic structure of sunspots groups which were sources of three highest values of fluxes gamma ray with energy of photons >100 MeV for all the time of observations on Large Area Telescope (LAT), on board the Spacecraft (SC) Fermi Gamma-ray is conducted. At the same time observed fluxes of gamma ray had also the greatest duration of existence. For comparison, group of spots of similar magnetic class was attracted, but in the absence in it of events that are sources of gamma ray. As a result of the analysis, a characteristic feature of the structure of magnetic fields was revealed: it is that in these sunspots groups inside the region of one polarity there is a very close location of the magnetic field of the opposite polarity. This occurs in the consequence of the interpenetration of cores and umbrae, as concentrated magnetic field carriers, of one polarity inside the field of another polarity. Observations show the existence of a rather long neutral line with very high magnetic field gradients, which affect the growth of active processes in the sunspots regions and, most importantly, the growth of proton acceleration efficiency on high-speed shock fronts and shock waves of CME.

Therefore, groups of magnetic class sunspots BD and BGD, having a structure of close interweaving of magnetic fields of opposite polarities, exhibit extreme activity and are proposed to allocate them into special subclasses - BDe and BGD_e (extreme). In the absence of such a property in the magnetic field structure, there is no significant enhancement of activity in the sunspots groups of BD and BGD classes.

Keywords: Structure of magnetic field of sunspots groups, high energetic gamma rays from flares, magnetic subclasses with extreme activity.

Introduction. The most powerful active phenomena in the Sun are solar flares which usually are accompanied by the coronal mass ejection (CME). On modern representations, the flare and CME are considered as the uniform process connected with violations of balance of magnetic structure in active region. Development of flare is connected with allocation of free magnetic energy in active region owing to her dissipation in current sheets because of magnetic reconnection with the subsequent action of stochastic acceleration at development of various plasma instability [1-3]. At development of active region its magnetic structure with the filaments which are located on the line of the section of polarities of magnetic field continuously becomes complicated. Over filaments the closed loops of magnetic field which create in general the closed magnetic configuration of all active region up to coronal heights are located. At continuous impact of shift movements on bases of magnetic loops along neutral line of magnetic field filament (prominence) loses stability and begins to rise up in an expedited manner, opening magnetic structure and forming "core" of ejection of CME [4].

Shock waves of CME are considered as the main source of the accelerated solar protons to energy >500 MeV at their distribution, both in corona of the Sun, and in the interplanetary environment [5]. According to results [6], protons with the energy exceeding 300 MeV in interaction with substance of the solar atmosphere are capable to generate the neutral and charged pi mesons (peonies) at which disintegration is formed a gamma ray. In cases of acceleration of flare protons to energy $E_k > 500$ MeV,

neutral peonies become sources of ray of gamma photons of high energy >100 MeV which is registered devices FERMI LAT.

Thus, summarizing results of the researches conducted earlier, we come to a conclusion that very important factor in development of the flare process leading to education high-energy gamma ray is the structure of magnetic field of active region, as represents the purpose of further researches.

Properties of magnetic structure of sunspots groups for events with the most intensive and long fluxes high-energy gamma ray

The national Center NOAA publishes the observation data of solar active regions received on various observatories with the indication of magnetic classification of sunspots groups of: A – unipolar, B – bipolar, BG – bipolar with irregularly located polarities, BD – the delta the structure in which at least one spot includes umbrae of opposite polarity and the most complex – BGD includes in addition to previous irregularly located cores of opposite polarities. (stp_space-weather_solar-data_solar-features_sunspot-regions_usaf_mwl.html).

The numerous, earlier conducted researches showed that the active regions possessing the most complex magnetic structure (classes BD and BGD) are sources of overwhelming number of the highest powerful proton events with $pfu > 10^3$ (the maximum value of flux of protons >10 MeV) [7].

In our research four events are used, three of which had the highest maximum values of flux gamma ray $9.0 \cdot 10^{-4} \gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \leq F_{\gamma > 100 \text{MeV}}^{max} \leq 2.4 \cdot 10^{-3} \gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, (Fermi LAT Maximum Likelihood). At the same time, duration of fluxes of gamma photons with energy $E_k > 100 \text{ MeV}$ was the largest - from 7 to 20 hours (figure 1). [https://hesperia.gsfc.nasa.gov/fermi/lat/qlook/LAT_qlook_plots.htm].

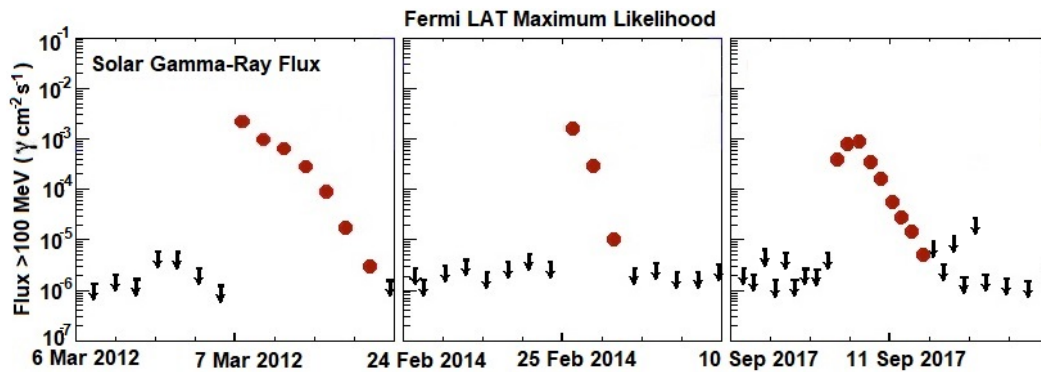


Figure 1 - Events of the highest intensity and the biggest duration of fluxes gamma photons >100 MeV during observations of the Sun on telescope Fermi

Especially for comparison the fourth event which occurred in the group of spots of a BGD class is attracted, but in it there were no flux of gamma ray. The main characteristics of the considered flare events are presented in table 1.

Table 1

Data, Location yyyy/mm/dd, deg	GOES X-Ray Class, Start	SEP Flux (pfu)	CME Speed, km s ⁻¹	Duration F _{γ>100MeV} hours	F _{γ>100MeV} ^{max} γ cm ⁻² s ⁻¹
2012/03/07, N17E15	X5.4, 00:02	6310	2684	20	2.4·10 ⁻³
2014/02/25, S12E82	X4.9, 00:39	103	2147	7	1.8·10 ⁻³
2017/09/10, S08W83	X8.2, 15:35	1490	3163	12	9.0·10 ⁻⁴
2014/10/24, S12W22	X3.1, 21:07	-	184	-	-

Necessary to make a remark concerning rather low observed pfu value for powerful SEP - event on February 25, 2014. It is connected about arrangement of flare on longitude - actually east edge of disk the Sun. Therefore, in near-earth space of SC GOES were registered only an insignificant part of a flare flux of protons (table 1, the 3rd column).

Pictures with of SC Solar Dynamics Observatory are given below: a photosphere, color and black-and-white magnetograms for four considered groups of spots (figure 2,3).

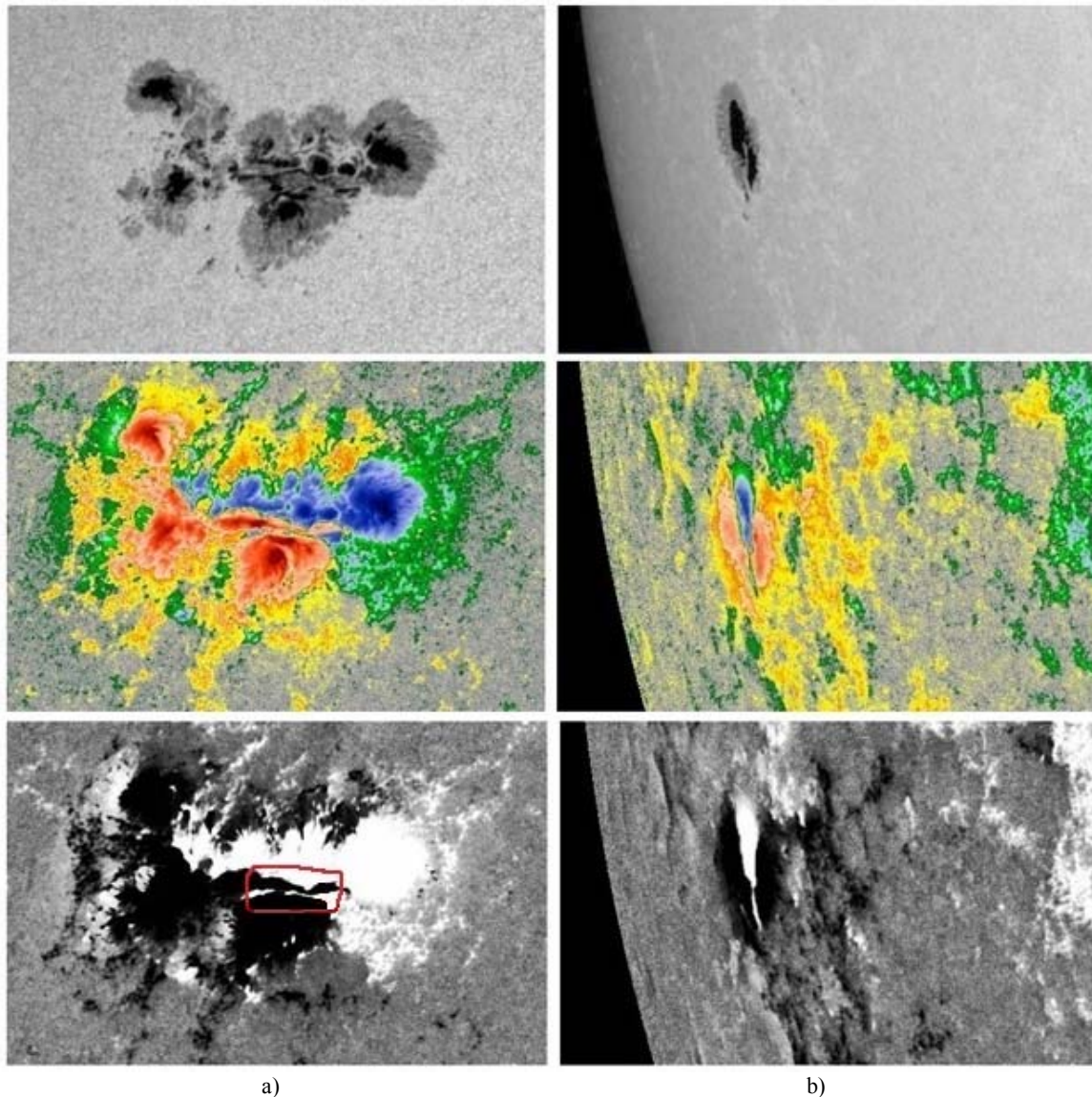


Figure 2 - a) On March 7, 2012 00h AR 1429; S=1310 millionths of the solar hemisphere (msh); N17 E15; group of spots of the class BGD; The area border with close located four layers of the alternating umbrae of opposite polarities is marked in red color on a black-and-white magnetogram. b) On February 25, 2014 00h AR 1990; S=250 msh; S12 E82; group of spots of the class BD

Comparison of structure of a magnetic field of four active regions which groups of solar spots have the complex magnetic configuration (classes BD and BGD) indicates presence in three cases of her additional very important property (figure 2a, and figure 3a). It is that in these groups of spots in region of one polarity the magnetic field of opposite polarity is observed. It results from interpenetration of umbrae of spots and pores as concentrated carriers of a magnetic field of one polarity in the field of other polarity. Only the close arrangement of two separate cores and large-scale magnetic fields of different polarities is characteristic of the fourth event (figure 3b) that didn't lead to very noticeable strengthening of the activity processes in AR2192. Quite compact AR2192 (class BGD) considerably exceeded other considered groups on the area. During passing on a disk of the Sun in it there were 95 flares of X-ray Class C, 33 flares of Class M and 6 flares of Class X. But at the same time, not a single proton event and not a single geomagnetic storm have been registered. Flares were accompanied by several Coronal Mass Ejections with very small speed.

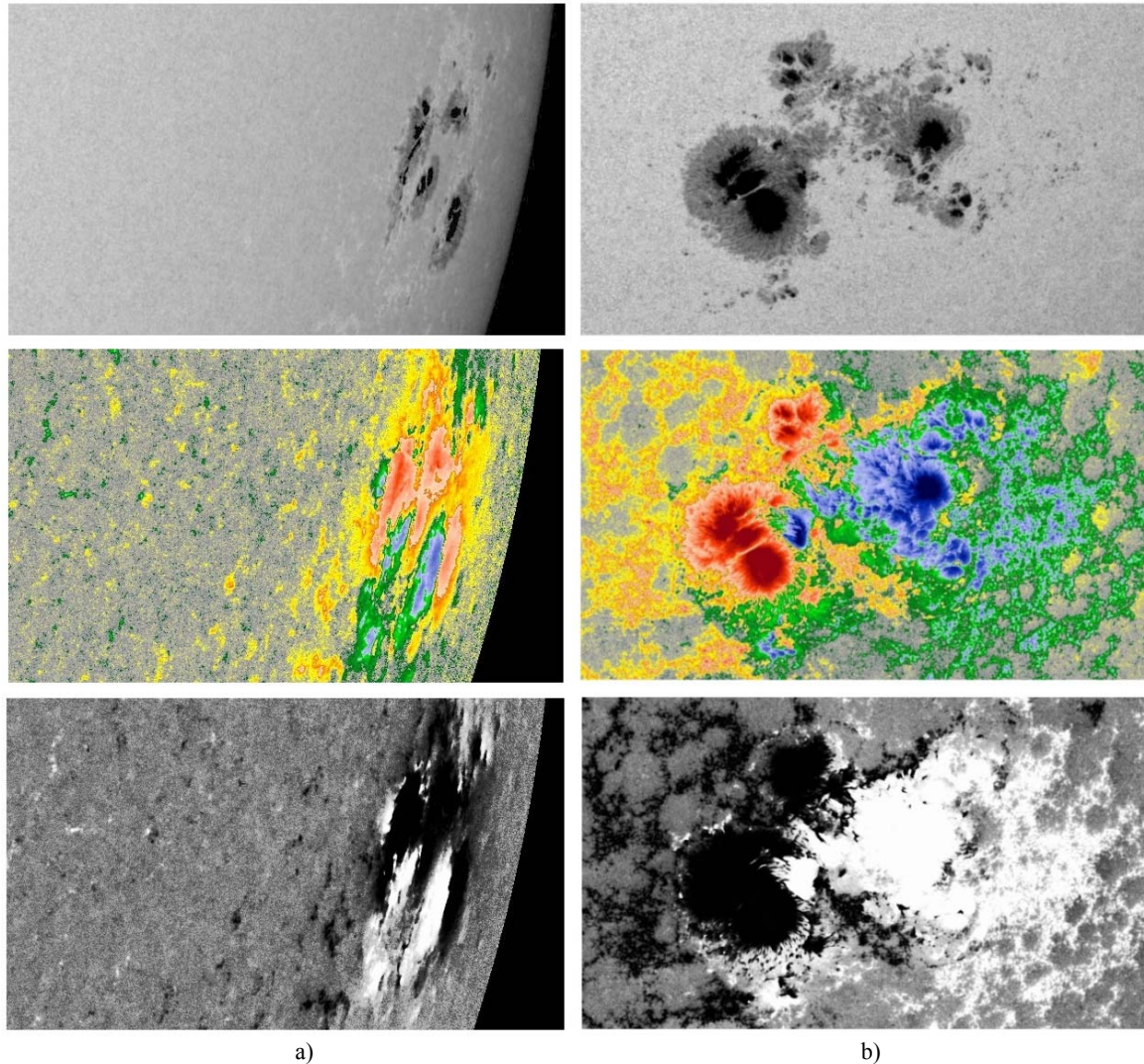


Figure 3 - a) On September 9, 2017 00h UT; AR 2673; S=1000 msh; S08 W74; group of spots of the class BGD; b) On October 25, 2014 00h UT; AR 2192; S=2500 msh; S12 W22; group of spots of the class BGD. The delta structure of group is defined by presence of umbrae of opposite polarities at the western part of a penumbra of the main multicores spot

It should be noted one more characteristic property of sunspots groups with the mixed polarities – very high gradients of a magnetic field on quite long part of the neutral line in the active regions.

Possibly, very high speeds of coronal mass ejections which accompanied development of flares were affected by the complex structure of magnetic field in first three (table 1) the considered active regions. The additional research showed that in the period of 2010-2017 on SC SOHO at development of 9 flare events coronal mass ejections which linear speeds exceeded 2000 km/s were observed. And only for 6 CME them sources (the active regions) were on a visible disk of the Sun. Thus, three more were added to three already considered events with high-speed CME. For them the following data are revealed: On January 23, 2012, $V_{\text{CME}} = 2175$ km/s, M8.7, $F_{\gamma > 100 \text{ MeV}}^{\text{max}} = 2.3 \cdot 10^{-5} \gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{c}^{-1}$; On January 27, 2012, $V_{\text{CME}} = 2508$ km/s, X1.7, $F_{\gamma > 100 \text{ MeV}}^{\text{max}} = 3.0 \cdot 10^{-5} \gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{c}^{-1}$; On May 13, 2013, $V_{\text{CME}} = 2625$ km/s, X3.2, $F_{\gamma > 100 \text{ MeV}}^{\text{max}} = 3.5 \cdot 10^{-5} \gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{c}^{-1}$. Duration of fluxes gamma ray with energy of photons > 100 MeV according to observations on Fermi LAT (Maximum Likelihood) is from 2 to 5 hours. And the most important – sunspot groups had the complex magnetic structure with the mixed opposite polarities. That is, the assumption of relations of the linear speed of coronal mass ejections at development of flares with structure of a magnetic field of the active region is confirmed. To quantify the complexity of the magnetic structure of the active region the parameter can be used - the length of the neutral line of the magnetic

field, only those pieces where they pass between the cores and the umbrae of opposite polarities. So for the considered four events, length of pieces of the neutral line with the specified properties is respectively: On March 7, 2012 – 6.9 degrees., on February 25, 2014 – 3.2 degrees., on September 10, 2017 – 5.8 degrees, on October 25 2014 – 1.0 degree.

In areas of the active region with closely spaced umbrae of opposite polarities, the neutral line has many bends and the magnetic field has very high gradients. The length of the neutral line in such a complex magnetic field structure clearly characterizes its effect on the size of the eruptive filament, its mass, and the speed of coronal mass ejection in the further development of the active processes.

As a result of the unique location of the umbrae of different polarities in the active region of March 7, 2012, an area was formed, where a number of four layers were located, representing a sequential alternation of magnetic fields of opposite polarities (see Fig.2a). It is remarkable that the similar structure remained during all development of fluxes high energy gamma ray (20 hours). At the same time, in the gamma ray of solar flare March 7, 2012 on Fermi LAT the maximum values of energy of quanta of 4-4.5 GeV were registered [8].

Conclusion. Thus, the sunspots groups possessing most the complex structure of a magnetic field (classes BD and BGD) show extreme activity in cases of mixed of umbrae of opposite polarities. In such magnetic structures, there are extended neutral lines with very high magnetic field gradients. Therefore, the active regions having such unique magnetic structure feature should be allocated in special subclasses - BDe and BGD_e (extremal). In the absence of such property in structure of a magnetic field, significant strengthening of activity in sunspots groups of the classes BD and BGD isn't observed.

Acknowledgements. Authors express gratitude to groups of the scientists supervising carrying out experiments on SC FERMI, SDO, GOES, SOHO for providing the experimental data published on the Internet and also the staff of the National Center NOAA for the publication of results of observations of solar active regions.

The work is supported by the Targeted Financing Program BR05336383 Aerospace Committee of the Ministry of digital development, innovations and aerospace industry of the Republic of Kazakhstan and Institute of Solar and Terrestrial Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (И.16.3.1 project).

Г.С. Минасянц¹, Т.М. Минасянц¹, В.М. Томозов²

¹В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институты, ҚР ҰҒА (АФИФ), Алматы, Қазақстан;

²Күн-жер физика институты РФА СБ, (ИСЗФ). Иркутск, Ресей

ЖОҒАРЫ ЭНЕРГИЯЛЫҚ ГАММА-СӘУЛЕЛЕНУІНІҢ ҰЗАҚ МЕРЗІМДІ АҒЫМДАРЫН ДАМЫТУДАҒЫ ДАҚ ТОПТАРЫНЫҢ МАГНИТТІК ҚҰРЫЛЫМЫНЫҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аннотация. Күндегі көптеген белсенді құбылыстардың ішінде ең қуатты энергиялы жарқылдар және күн тәжімен байланысты шығарулар болып саналады. Олар жоғары жылдамдықты бөлшектер ағындарының және әртүрлі спектрлік аймақтардағы, соның ішінде гамма аймағындағы энергетикалық сәулеленудің көзі болып табылады.

Жарқыл процесінің негізі тікелей бөлшектердің үдеуі болып табылады. Себебі, көптеген зерттеулер магниттік құрылымы ең күрделі аймақтар (BD және BGD кластары) жоғары рентген сәулелері мен жоғары энергиялы протондардың максималды ағындары бар ең қуатты жарқылдың басым көзі болып табылатындығын көрсетті. LAT FERMI гамма телескопы арқылы бүкіл уақыт бойы бақыланған >100 МэВ кванттық энергиялы ең жоғары үш гамма-сәулелену ағынының көзі болған күннің белсенді аймақтарының магниттік құрылымдары зерттелді. Сонымен қатар, бақыланған гамма-сәулелік ағындары өмір сүру уақыты ұзақ болды. Салыстыру үшін ұқсас магниттік кластың белсенді аймағы таңдалып, бірақ онда гамма-сәулеленудің пайда болуына әкелетін ерекшеліктер болмады. Орындалған талдау нәтижесінен белсенді энергетикалық оқиғалары бар белсенді аймақтарға тән магнит өрісі құрылымының қасиеті - қарама-қарсы полярлы жақын орналасқан ядролар және дақтар көлеңкесін бөлетін жеткілікті ұзын бейтарап сызықтың болуы анықталды. Бұл басқа полярлық өрістің ішіндегі бір полярлы магнит өрісінің шоғырлануының тасымалдаушылары ретінде ядролар мен көлеңкелердің өзара әсерлесуі нәтижесінде пайда болады. Бұл

жағдайларда жүргізілген бақылаулар бейтарап сызықтардың көлденең магнит өрісінің градиентінің өте жоғары мәндері бар, дақтар көлеңкесіндегі тік өріс градиентінің мәндерінен 5 есе жоғары бөліктерінің бар екендігін көрсетеді. Мүмкін, бұл магнит өрісінің осындай күрделі құрылымы энергияның таралуы кезінде бос магниттік энергияны тиімді шығаруға мүмкіндік береді (қайта қосу процесі) және бұл өте маңызды, жоғары жылдамдықты соққы фронттары мен күн тәжі шығарылымдардың соққы толқындарында протонды үдетудің тиімділігінің едәуір артуына әкелуі мүмкін.

Белсенді аймақта әртүрлі полярлықтардың көлеңкелерінің бірегей орналасуы нәтижесінде 2012 жылғы 7 наурызда қарама-қарсы полярлықтары бар магнит өрістерінің тізбектей ауысуын білдіретін төрт қабат бір-бірінің қасында орналасқан аймақ пайда болды. Бір ерекшелігі, ұқсас құрылым жарқылдағы гамма-сәулелік ағындардың бүкіл дамуы кезінде сақталды (20 сағат). Сонымен бірге, жарқыл процесінің жоғары энергиялы гамма-сәулесінде, Fermi LAT-да максималды кванттық энергия $4 \sim 4,5$ ГэВ тіркелді.

Сондықтан, қарама-қарсы полярларлы магнит өрістерінің тығыз орналасуы құрылымы бар BD және BGD магниттік кластар дақтары өте белсенді және оларды арнайы ішкі кластарға бөлуі ұсынылады - BD және BGD (extreme). Магнит өрісінің құрылымында мұндай қасиет болмаған жағдайда, BD және BGD кластар топтарында белсенділіктің айтарлықтай өсуі байқалмайды.

Түйін сөздер: Дақтар топтарының магниттік өрісінің құрылымы, жарқылдардан жоғары энергиялы гамма-сәуле шығару, экстремалды белсенділігі бар магниттік класс тармақтары.

Г.С. Минасянц¹, Т.М. Минасянц¹, В.М. Томозов²

¹Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова НАН РК (АФИФ), Алматы, Казахстан;

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, (ИСЗФ), Иркутск, Россия

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ ГРУПП ПЯТЕН ПРИ РАЗВИТИИ ДЛИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Аннотация. Среди многочисленных активных явлений на Солнце событиями с наиболее мощной энергетикой считаются вспышки и связанные с ними корональные выбросы. Они являются источниками как высокоскоростных потоков частиц, так и энергичного излучения в различных областях спектра, в том числе и в гамма – диапазоне.

Основой вспышечного процесса является прямое ускорение частиц. Многочисленные, ранее проведенные исследования показали, что активные области, обладающие наиболее сложной магнитной структурой (классы BD и BGD), являются источниками подавляющего числа самых мощных вспышек с высокими рентгеновскими баллами и максимальными значениями потоков высокоэнергичных протонов. В представленной работе изучены события, магнитные структуры активных областей которых были источниками трех самых высоких максимальных потоков гамма-излучения с энергиями квантов >100 MeV за все время наблюдений на гамма-телескопе LAT FERMI. При этом наблюдаемые потоки гамма-излучения имели также наибольшую продолжительность времени существования. Для сопоставления была привлечена активная область подобного магнитного класса, но с отсутствием в ней особенностей, приводящих к появлению гамма-излучения. В результате выполненного анализа выявлена характерная особенность структуры магнитных полей: она заключается в том, что в этих группах пятен внутри области одной полярности наблюдается очень близкое расположение магнитного поля противоположной полярности. Это происходит в результате взаимопроникновения ядер и теней как концентрированных носителей магнитного поля одной полярности внутрь поля другой полярности. Наблюдения в этих случаях показывают существование довольно протяженных участков нейтральной линии с очень высокими значениями градиента горизонтального магнитного поля, более чем в 5 раз превышающими значения вертикального градиента поля в тени пятен. Вероятнее всего, такая сложная структура магнитного поля позволяет эффективно освобождать свободную магнитную энергию в ходе диссипации энергии в токовых слоях (процесс пересоединения) и, что особенно важно, может приводить к существенному росту эффективности ускорения протонов на высокоскоростных ударных фронтах и ударных волнах корональных выбросов.

В результате уникального расположения теней разных полярностей в активной области 7 марта 2012 г. образовалась область, где рядом располагаются четыре слоя, представляющие последовательное чередование магнитных полей с противоположными полярностями. Примечательно, что подобная структура сохранялась в течение всего развития потоков гамма излучения во вспышке (20 часов). При этом, в высокоэнергичном гамма-излучении вспышечного процесса на Fermi LAT были зарегистрированы максимальные значения энергий квантов $\sim 4-4.5$ GeV.

Поэтому группы пятен магнитного класса BD и BGD, обладающие структурой тесной переплетенности магнитных полей противоположных полярностей, проявляют экстремальную активность и их предлагается

выделить в особые подклассы – BDe и BGDe (extreme). При отсутствии такого свойства в структуре магнитного поля не наблюдается существенного усиления активности в группах пятен классов BD и BGD.

Ключевые слова: структура магнитного поля групп пятен, высокоэнергичное гамма излучение вспышек, магнитные подклассы с экстремальной активностью.

Information about authors:

Minasyants Gennady Sergeevich, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Leading Researcher, Fesenkov Astrophysical Institute. Almaty, Kazakhstan, e-mail: gennadii_minasya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6962-2831>;

Minasyants Tamara Mihailovna, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Senior Researcher, Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan, tamara@aphi.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7349-3967>;

Tomozov Vladimir Mihailovich, Candidate of Physical-Mathematical Sciences, Senior Researcher, Institute of Solar-Terrestrial Physics, Irkutsk, Russia, tom@iszf.irk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0784-9782>

REFERENCES

- [1] Altyntsev A.T., Banin V.G., Kuklin G.V., Tomozov V.M. “Solar Flares”, Moscow: Science, P.246, 1982.
- [2] Prist E.R., Forbes T. ”Magnetic reconnection. Magneto-hydrodynamic theory and applications”, Moscow: Fizmatlit, P.591, 2005.
- [3] Somov B.V. “Plasma Astrophys.: Reconnection and Flares”, Springer: New York. P.504, 2013.
- [4] Golovko A.A., Kuklin G.V., Mordvinov A.V., Tomozov V.M. “The role of shear motions in the production of a preflare situation”, Contributions of the Astronomical Observatory Skalnat Pleso, v. 15, pp. 243-250, 1986.
- [5] Tylka A.J., Share G.H., William F., Dietrich W.F. “Solar Protons above 500 MeV in the Sun’s Atmosphere and in Interplanetary Space”, Report EGU General Assembly, Vienna, Austria 27 April – 02 May 2014. Geophysical Research Abstracts Vol. 16, EGU2014-16847, 2014.
- [6] Murphy R.J., Dermer C.D., Ramaty R. “High-energy processes in solar flares”, *Astrophys. J. Suppl.*, V. 63, pp. 721-748, 1987.
- [7] Minasyants G.S., Minasyants T.M. “Solar Active Regions and Cosmic Weather”, LAMBERT, P.144, 2013.
- [8] Ajello M., Albert A., Allafort A. et al. Impulsive and long duration high-energy gamma-ray emission from the very bright 2012 March 7 solar flares // *Astrophys. J.* V.789:20 (15pp), 2014 July 1. doi:10.1088/0004-637X/789/1/20.

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

(Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Редакторы: *М. С. Ахметова, Г. Б. Халидуллаева, Д. С. Аленов*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 08.06.2020.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
15 п.л. Тираж 300. Заказ 3.