

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

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ

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 Алматыдағы  
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық  
университетінің

## NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
al-Farabi Kazakh National University

**SERIES**  
**PHYSICO-MATHEMATICAL**

**4 (338)**

**JULY – AUGUST 2021**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

---

---

*NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series physico-mathematical journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.*

*Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы «ҚР ҰҒА Хабарлары. Физикалық-математикалық сериясы» ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.*

*НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия физико-математическая» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.*

### **Бас редактор:**

**МҰТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы**, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан) Н=5

### **Редакция алқасы:**

**ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы** (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан) Н=7

**БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы** (бас редактордың орынбасары), техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сағпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан) Н=3

**ВОЙЧИК Вальдемар**, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша) Н=23

**БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы**, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н-10

**QUEVEDO Hemando**, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика) Н=28

**ЖҮСПОВ Марат Абжанұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина) Н=5

**МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович**, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі (Минск, Беларусь) Н=2

**РАМАЗАНОВ Тілекқабыл Сәбитұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) Н=26

**ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=5

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова) Н=42

**ХАРИН Станислав Николаевич**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=10

**ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н=12

**КАЛАНДРА Пьетро**, Ph.D (физика), Наноқұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) Н=26

### **«ҚР ҰҒА Хабарлары.**

**Физика-математикалық сериясы».**

**ISSN 2518-1726 (Online),**

**ISSN 1991-346X (Print)**

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген **№ 16906-Ж** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *математика, информатика, механика, физика, ғарыштық зерттеулер, астрономия, ионосфера.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2021

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Мұратбаев көш., 75.

### Главный редактор:

**МУТАНОВ Галимкаир Мутанович**, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан) Н=5

### Редакционная коллегия:

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович**, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан) Н=7

**БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич**, (заместитель главного редактора), доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, университет Сатпаева (Алматы, Казахстан) Н=3

**ВОЙЧИК Вальдемар**, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша) Н=23

**БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич**, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=10

**QUEVEDO Hemando**, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика) Н=28

**ЖУСУПОВ Марат Абжанович**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=7

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина) Н=5

**МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович**, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь) Н=2

**РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=26

**ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=5

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова) Н=42

**ХАРИН Станислав Николаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан) Н=10

**ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович**, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н=12

**КАЛАНДРА Пьетро**, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия) Н=26

«Известия НАН РК.

Серия физико-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № 16906-Ж выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *математика, информатика, механика, физика, космические исследования, астрономия, ионосфера.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2021

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

#### **Editor in chief:**

**MUTANOV Galimkair Mutanovich**, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan) H=5

#### **Editorial board:**

**KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich** (Deputy Editor-in-Chief), doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan) H=7

**BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich**, (Deputy Editor-in-Chief), doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan) H=3

**WOICIK Waldemar**, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland) H=23

**BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich**, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=10

**QUEVEDO Hemando**, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico) H=28

**ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=7

**KOVALEV Alexander Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine) H=5

**MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS of Belarus (Minsk, Belarus) H=2

**RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=26

**TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=5

**TIGHINEANU Ion Mikhailovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova) H=42

**KHARIN Stanislav Nikolayevich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan) H=10

**DAVLETOV Askar Erbulanovich**, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H=12

**CALANDRA Pietro**, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy) H=26

**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 periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. 16906-Ж, issued 14.02.2018

Thematic scope: *mathematics, computer science, mechanics, physics, space research, astronomy, ionosphere.*

*Periodicity:* 6 times a year.

*Circulation:* 300 copies.

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

*http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/*

Минасянц Г.С.<sup>1\*</sup>, Минасянц Т.М.<sup>1</sup>, Томозов В.М.<sup>2</sup><sup>1</sup>Астрофизический институт имени В.Г. Фесенкова НАН РК (АФИФ), Алматы, Казахстан;<sup>2</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, (ИСЗФ), Иркутск.

E-mail: gennadii\_minasya@mail

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКОВ УСКОРЕННЫХ ПРОТОНОВ ПРИ РАЗВИТИИ ВСПЫШЕК С ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫМ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ**

**Аннотация:** выполнено сопоставление характеристик потоков протонов с энергиями  $> 500$  МэВ с потоками гамма - излучения  $> 100$  МэВ от вспышек с продолжительным гамма – излучением. Для анализа были использованы данные наблюдений по потокам протонов с КА GOES и по потокам гамма - излучения с КА Fermi/LAT за период 2010-2018 годов в 24 цикле активности Солнца. Результаты анализа данных показали, что рассмотренные вспышечные события по своим характеристикам представляют три разных типа: Тип I – эволюция потока гамма – излучения сопровождается наблюдаемыми потоками энергичных протонов; Тип II – развитие гамма – излучения происходит при отсутствии регистрируемых возрастных потоков протонов; Тип III – при наблюдаемых возрастных потоках энергичных протонов отсутствует поток гамма – квантов. Качественно описан процесс развития мощной эруптивной вспышки, сопровождаемый крупномасштабной перестройкой магнитной структуры, с изменениями механизмов ускорения энергичных частиц на основе известной модели «прорыва». Для всего многообразия наблюдаемых характеристик ускоренных протонов в длительных гамма – событиях предложены возможные объяснения.

**Ключевые слова:** вспышки, гамма – излучение, протоны.

**Введение.** Регистрация излучения солнечных вспышек в гамма – диапазоне спектра с энергиями  $>100$  МэВ является одним из важных источников информации для изучения механизмов ускорения частиц в ходе развития вспышечного процесса. До недавнего времени считалось, что такие вспышки возникают преимущественно в компактных активных областях с сильным магнитным полем [1]. Результаты, полученные в работах [2,3], показали, что такие области локализации гамма - вспышек совпадают с ядрами комплексов активности. Комплексы активности представляют собой сложные и относительно долгоживущие конгломераты активных областей, физически связанные между собой высокими корональными петлями.

Основной причиной ускорения частиц в период импульсной фазы вспышек считается процесс выделения свободной магнитной энергии, накопленной в активной области, в результате ее диссипации в токовых слоях при развитии процесса магнитного пересоединения с последующим действием стохастического ускорения частиц вследствие различных плазменных неустойчивостей [4-6]. Помимо ускорения доли частиц в области магнитного пересоединения, основная плазма нагревается до высоких температур, и часть ее выбрасывается из этой области с большими скоростями. Данные наблюдений показали, что магнитное пересоединение происходит в короне, в хромосфере Солнца и возможно, в фотосфере [7]. Весьма эффективное ускорение частиц (в частности, протонов) происходит также на фронтах ударных волн, возникающих при распространении высокоскоростных корональных выбросов массы (КВМ), связанных с эволюцией вспышечного процесса. В ходе развития процесса вспышки относительная роль механизмов ускорения частиц и их эффективность может меняться.

Согласно результатам классической работы [8], ускоренные протоны, энергия которых превышает 300 МэВ, в результате ядерных реакций при взаимодействии с веществом в плотных слоях солнечной атмосферы приводят к появлению заряженных пи-мезонов (положительных и отрицательных пионов), а также нейтральных  $\pi^0$ -мезонов. При распаде нейтрального пиона возникают два гамма - кванта с энергиями  $>60$  МэВ. В ходе ускорения протонов во вспышках до энергий, превышающих  $E_k > 500$  МэВ,

распады возникающих нейтральных пионов становятся основными источниками излучения гамма - квантов высоких энергий:  $>100$  МэВ, которые регистрируются прибором LAT на КА FERMI.

Было проведено специальное исследование [9] нескольких источников развития длительных потоков гамма – излучения высоких энергий во вспышках. В результате получены дополнительные свидетельства того, что высокоэнергичные протоны, приводящие к возникновению потоков гамма - излучения, образуются, в основном, в ходе ускорения ударными волнами КВМ, т.е. имеют ту же природу, что и солнечные энергичные частицы, наблюдаемые в межпланетном пространстве.

В представленной работе было проведено сопоставление потоков гамма-излучения с энергиями  $>100$  МэВ, образованных в ходе ядерных реакций энергичных протонов ( $E_k > 500$  МэВ) при развитии вспышек и ударных волн КВМ, с количественными оценками потоков протонов высоких энергий, которые зарегистрированы в околоземном пространстве. Для анализа был использован каталог вспышек [10] с продолжительным гамма – излучением в 24 цикле активности Солнца.

**Материалы и методы.** *Характеристики вспышечных потоков протонов высоких энергий по данным околоземных наблюдений*

Выполнен детальный анализ наблюдательных данных с КА GOES/NEPAD, представленных в виде графиков потоков протонов с различными энергиями, зарегистрированных за период 2010–2018 годов. Выяснено, что лишь в пяти вспышечных событиях зарегистрированы возрастания потоков протонов с энергиями: 375 МэВ, 465 МэВ, 605 МэВ и  $>700$  МэВ – таблица 1 (события 1-4,9). Оказалось, что только четыре из них (27 января, 7 марта, 17 мая 2012 г. и 10 сентября 2017 г.) относятся к вспышкам с длительным гамма-излучением с энергиями  $>100$  МэВ. Событие 22 мая 2013 года к ним не относится, так как в нем было обнаружено только кратковременное возрастание потока гамма-излучения с незначительным превышением над фоном.

Для событий с гамма-излучением с энергиями  $>100$  МэВ величины потоков протонов с энергиями более 500 МэВ, зарегистрированные на КА GOES вблизи Земли, оказались своеобразными параметрами, характеризующими эффективность взаимодействия высокоэнергичных протонов, ускоренных ударными волнами от КВМ (развивающихся практически одновременно с вспышечным процессом), с окружающей плазмой при образовании гамма - квантов. При этом необходимо было учитывать влияние долготного расположения солнечных вспышек на условия распространения потоков протонов к Земле. Специальное исследование, проведенное авторами работы [10], показало, что крупномасштабное пространственное распределение солнечных энергичных протонов вблизи Земли обладает наименьшими потерями при образовании вспышки на Солнце в районе номинальной долготы W58 и экспоненциально увеличиваются в обоих направлениях в интервале долгот между W20 и W90. Вне указанного диапазона долгот экстраполяции потоков частиц могут оказаться ненадежными, и этот факт следует учитывать при анализе событий.

Так, в ходе развития события 25 февраля 2014 г. с мощным потоком гамма-излучения  $>100$  МэВ на КА GOES наблюдалось лишь небольшое усиление потока протонов с энергией 605 МэВ при отсутствии заметного возрастания протонов с энергиями выше 700 МэВ. По-видимому, эта ситуация объясняется восточным расположением области вспышки по долготе (координаты S12 E78).

В результате, если из 32 вспышечных событий с устойчивым потоком гамма-излучения  $>100$  МэВ [10-11], согласно данным наблюдений на FERMI/LAT в 2011-2017 годах, рассматривать только события, следуя рекомендациям работы [10], в соответствии с их долготным расположением, то должны быть зарегистрированы не менее 14 околоземных событий с усиленными потоками высокоэнергичных протонов. Однако наблюдения показали приход к Земле ожидаемых потоков протонов с энергиями  $>500$  МэВ лишь от 4 вспышек с продолжительным гамма-излучением в области энергий, превышающих 100 МэВ. Следует подчеркнуть, что для распространения потоков гамма - квантов не существует подобных препятствий. Так, длительное гамма-излучение  $>100$  МэВ наблюдалось от вспышек за лимбом 11 октября 2013 г. с координатами N21E103, балла M4.9 и 1 сентября 2014 г. с координатами N14E126, балла X2.1.

В таблице 1 показаны вспышечные события и некоторые физические характеристики их развития: №№ (1-4): гамма - события, которые названы здесь событиями Типа I, сопровождались потоками высокоэнергичных протонов, зарегистрированных вблизи Земли; №№(5-8): события с гамма-излучением  $>100$  МэВ, но с отсутствием усиленных потоков высокоэнергичных протонов (Тип II) и, наконец, событие №9, которое не относилось к классу вспышек с гамма-излучением  $>100$  МэВ, но показавшее возрастание потока протонов соответствующих высоких энергий (Тип III). Для изучения структуры и других характеристик КВМ использовались наблюдательные данные с КА SOHO/LASCO. Линейные скорости КВМ приведены в столбце 3. В столбце 4 для рассмотренных событий представлены величины потоков протонов с  $rfu > 10$  МэВ, а в 5-ом - временная длительность (в часах)

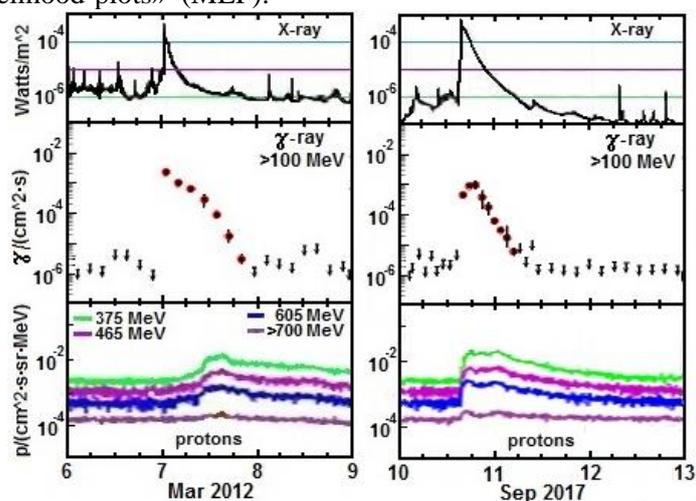
потоков гамма-излучения с энергиями >100 МэВ. В последнем столбце таблицы показаны максимальные величины гамма - потоков >100 МэВ для каждой вспышки с гамма- излучением.

**Таблица 1**

№	Дата развития вспышек, время начала вспышки (UT)	X- Ray, балл и координаты вспышки	Скорость КВМ V (км/сек)	Потоки протонов rfu >10 MeV	LAT Δt Поток γ-ray >100 MeV (часы)	LAT Flux (MLP) >100 MeV $\gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
	1	2	3	4	5	6
1	27.01.2012,17:37	X1.7 N35W81	2508	796	2.0	$3.5 \cdot 10^{-5}$
2	07.03.2012,00:02	X5.4 N17E15	2684	6530	14.4	$2.0 \cdot 10^{-3}$
3	17.05.2012,01:25	M5.1 N05W77	1582	255	2.1	$1.2 \cdot 10^{-5}$
4	10.09.2017,15:44	X8.2 S08W83	3163	1490	11.6	$1.0 \cdot 10^{-3}$
5	06.09.2011,22:12	X2.1 N14W18	1000	–	0.2	$1.7 \cdot 10^{-4}$
6	07.09.2011,22:32	X1.8 N18W32	792	–	0.3	$8.0 \cdot 10^{-6}$
7	23.01.2012,03:38	M8.7N33W21	2175	6310	5.3	$2.0 \cdot 10^{-5}$
8	06.09.2017,11:53	X9.3 S08W33	1571	–	9.7	$4.5 \cdot 10^{-5}$
9	22.05.2013,13:08	M5.0 N15W70	1466	1660	–	–

Интересное событие, о котором уже было указано выше, произошло 22 мая 2013 г.: вспышка балла M5 (начало 13:08 UT) с координатами (N15,W70), с выбросом КВМ типа гало с  $V=1466$  км/с и протонным индексом rfu (>10 МэВ) = 1660. В этой вспышке было зарегистрировано небольшое усиление потоков протонов высоких энергий, включая и энергии >700 МэВ, однако при этом не зарегистрировано гамма-излучения >100 МэВ на LAT Fermi. Был отмечен лишь незначительный фоновый скачок потока гамма-излучения ( $3 \cdot 10^{-6}$  -  $9 \cdot 10^{-6}$ )  $\gamma \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  вблизи 16:00 UT 22 мая (см. рис 2). Время начала вспышки 13:08 UT, начало развития КВМ ~13:25 UT. По-видимому, несколько более позднее развитие КВМ относительно времени начала импульсной фазы вспышки, возможно, и повлияло на то, что ускорение высокоэнергичных протонов произошло на довольно большом расстоянии от области вспышки при сравнительно низкой корональной плотности. Это могло привести к практическому отсутствию ядерных взаимодействий протонов высоких энергий с окружающей плазмой (источника образования гамма - квантов) и к их свободному выходу в околоземное пространство.

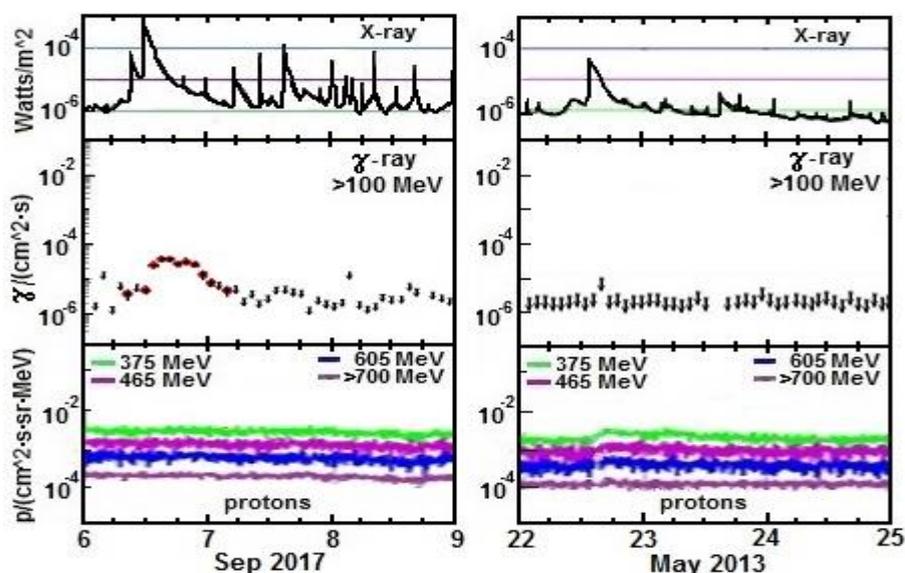
При построении графиков для потоков гамма-излучения с энергиями >100 МэВ в различных событиях были использованы данные, представленные на сайте КА Fermi и обработанные с помощью методики «Maximum-likelihood-plots»–(MLP).



**Рис.1** –Эволюция потоков рентгеновского излучения вспышек в диапазоне (1-8 Å) (КА GOES), потоков гамма-излучения с энергиями >100 МэВ (КА LAT Fermi) и потоков высокоэнергичных протонов (КА GOES) для событий ТипаI: 7 марта 2012 г. и 10 сентября 2017 г.

В событии 7 марта 2012 года наблюдалась заметная временная задержка в появлении максимальных потоков высокоэнергичных протонов относительно максимумов излучения вспышки в рентгеновском

диапазоне, а также потока гамма - эмиссии. Возможно, что здесь наглядно проявилось влияние расположения центра вспышки по долготе (N17E15).



**Рис. 2** - Эволюция потоков рентгеновского излучения вспышек в диапазоне (1-8 Å), потоков гамма-излучения с энергиями >100 МэВ и потоков высокоэнергичных протонов для события Типа II – 6 сентября 2017 г. и события Типа III – 22 мая 2013 г.

Каждая солнечная вспышка обладает уникальными характеристиками, которые проявляются как в процессе ее возникновения, так и в ходе развития вспышечных потоков гамма-излучения. Например, событие 6 сентября 2011 года балла X2.1 с координатами N14 W18 показало лишь незначительное усиление потоков протонов с энергиями >10 МэВ (которое меньше необходимого значения для его регистрации как протонного события), и соответственно, полное отсутствие потоков протонов более высоких энергий при наблюдениях вблизи Земли. Почти такая же картина наблюдалась и в событии 7 сентября 2011 г. (вспышка балла X2.1 – N18 W32) с теми же характеристиками потоков протонов. Однако следует отметить, что при этом событие 6 сентября оказалось источником гамма-излучения с энергиями квантов >100 МэВ и с величиной потока гамма - эмиссии, которая оказалась шестой по максимальной величине среди потоков от всех гамма - событий, а в событии 7 сентября 2011 года наблюдался максимум гамма - потока в 35 раз меньший. Как объяснить подобные особенности развития вспышечных процессов и их результаты в виде образования мощных потоков высокоэнергичного гамма-излучения при наблюдаемом отсутствии вблизи Земли (КА GOES) потоков протонов соответствующих энергий? По-видимому, следует учитывать вероятность того, что абсолютное большинство протонов высоких энергий вступает в ядерные реакции с плотной окружающей плазмой при развитии вспышечного процесса, образуя в конечном итоге гамма - кванты с энергиями >100 МэВ. При этом околоземного пространства достигает лишь небольшое число высокоэнергичных протонов, которое невозможно выделить в виде превышения над фоном.

Событие 23 января 2012 г., относящееся к Типу II (с энергиями квантов  $E_\gamma > 100$  МэВ, но без регистрации протонов >500 МэВ у Земли), отличалось некоторой особенностью – наблюдалось возрастание потоков протонов с энергиями 375 и 465 МэВ и в то же время усиление потока протонов с энергиями > 500 МэВ отсутствовало.

#### **Описание различных физических процессов при развитии вспышек с длительным гамма-излучением.**

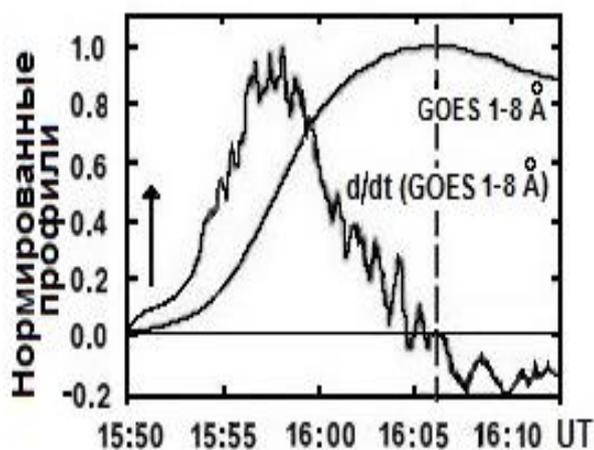
На основе известной модели «прорыва» [12,13] качественно опишем временную последовательность перестройки топологии магнитных полей в комплексе активности (КА) в ходе развития сильной вспышки и связанные с этими изменениями механизмы ускорения энергичных частиц [3]. В рамках этой модели сложные движения вещества (сдвиговые, вихревые и проч.) в фотосфере, направленные вдоль линии раздела полярностей (ЛРП), приводят структуру вышележащих полей КА в неравновесное состояние. Вследствие этого, волокно, расположенное над (ЛРП), теряет устойчивость из-за развития крупномасштабной неустойчивости и ускоренно движется вверх, образуя

корональный выброс массы (КВМ). При последовательном взаимодействии с вышележащими магнитными петлями выброс КВМ приводит к преобразованию первоначально замкнутой структуры полей всей активной области в открытую конфигурацию в верхних корональных слоях. Отметим, что процесс магнитного пересоединения может быть многократным при последовательном «прорыве» КВМ системы вышележащих магнитных петель, что приведет к энергосвобождению в форме отдельных всплесков, в основном, в рентгеновском диапазоне [14]. Вслед за уходящим вверх КВМ образуется тонкая протяженная светящаяся область (спутный след), представляющая собой токовый слой (ТС).

Головная часть выброса (ядро КВМ) при ускоренном движении в среде с падающей плотностью в корональных слоях быстро расширяется в стороны и возбуждает, помимо головной волны, ударные волны на флангах выброса, которые также способны ускорять протоны до достаточно высоких энергий. В результате процесса перестройки магнитной конфигурации в ходе эволюции вспышки образуется магнитная структура в форме каспа с токовым слоем, соединяющим уходящий выброс КВМ с областью «родительской» вспышки [3]. По-видимому, формирование такой структуры можно связать с окончанием импульсной фазы вспышки и переходом к основной фазе процесса выделения энергии.

Импульсная фаза вспышки характеризуется появлением быстрых потоков горячей плазмы и пучков энергичных ускоренных частиц, которые распространяются вдоль трубок магнитного поля в плотные слои солнечной хромосферы. При взаимодействии энергичных частиц (электронов и протонов) с плотной плазмой хромосферы происходит ее быстрый нагрев, испарение и подъем с заполнением объема корональных арок. В основаниях магнитных петель генерируется жесткое тормозное рентгеновское, ультрафиолетовое и гамма-излучение (в мощных событиях). Вполне возможно, хотя об этом еще не сообщалось, что в событиях с длительным гамма – излучением должны наблюдаться «солнцетрясения» с образованием кольцеобразных фронтов возмущений в нижележащих атмосферных слоях.

На основной фазе вспышки горячая плазма в системе арок длительное время излучает в мягком рентгеновском диапазоне спектра. Эта фаза вспыхивающей эмиссии поддерживается выделением энергии в ходе процесса магнитного пересоединения в вертикальном токовом слое, связывающем КВМ с областью вспышки. Как известно, выделение энергии в токовых слоях носит нерегулярный характер в форме всплесков, что доказано в ходе лабораторных экспериментов. На рис. 3 показан пример вспышки 10 сентября 2017 года, где наблюдается подобный характер выделения энергии в жесткой рентгеновской области спектра. На рис. 3 видно, что такой характер энергосвобождения поддерживается как на импульсной фазе вспышки, так и на ее основной фазе (длительность импульсной фазы в этом событии составляла 16 минут).



**Рис. 3.** Гамма-событие 10 сентября 2017 года балла X8.2 (S08,W88). Длительность импульсной фазы вспышки 15:50 -16.06 UT. Начало развития КВМ (вертикальная стрелка) – 15:51 UT.

Вертикальная прерывистая линия – граница импульсной фазы вспышки. Поток рентгеновского излучения в диапазоне (1-8)Å и его производная по времени  $dF_x/dt$  (данные с КА SDO) показаны в виде нормированных кривых.

Заметим, что подобное поведение рентгеновского излучения в ходе развития вспышек с длительным гамма – излучением в форме отдельных всплесков прослеживается и в других событиях (см. рис. 1 и 2). Это является характерной особенностью ускорения электронов в токовых слоях.

Отметим, что недавно Минасянцем и др. [15] было показано, что наиболее интенсивные потоки гамма – излучения в продолжительных вспышках наблюдаются в тех случаях, когда возникновение и развитие КВМ происходит непосредственно в ходе импульсной фазы эволюции вспышки. Это означает, что уже на ранних стадиях развития вспышки возможно ускорение протонов ударными волнами до высоких энергий. В тех же случаях, когда выброс КВМ происходит после импульсной фазы, потоки гамма – излучения значительно уменьшаются.

Протяженный вертикальный токовый слой вслед за уходящим выбросом обеспечивает энергетическую связь между КВМ и областью вспышки. Часть энергичных электронов, ускоренных в ТС, распространяется вниз, к области каспа, генерируя в этой зоне жесткое рентгеновское излучение. Другая часть ускоренных частиц уходит непосредственно в область КВМ, обеспечивая приток энергии в область выброса. Можно считать, что процессы нагрева и ускорения плазмы в слое ТС за уходящим выбросом КВМ являются ответственными за развитие основной фазы процесса вспышки.

Параметры плазмы в протяженном слое ТС за выбросом КВМ неоднократно определялись по данным наблюдений [16,17]. Так, например, наблюдения в КУФ диапазоне спектра с КА Hinode и SDO/AIA показали, что температура плазмы в ТС может достигать 20 МК и выше, причем максимальная температура была зарегистрирована в вершинах петель после вспышки [18]. В ходе эруптивной вспышки класса X8.2 10 сентября 2017 года на западном лимбе Солнца была оценена толщина ТС между каспом и КВМ, которая оказалась равной  $3 \times 10^3$  км [18].

Таким образом, в рамках модели «прорыва» длительная фаза гамма – эмиссии во вспышках может быть объяснена ускорением протонов в межпланетных ударных волнах при выходе КВМ в верхние слои короны. Свидетельством в пользу этого вывода является обнаруженная линейная связь между продолжительностью гамма – событий и конечной частотой радиовсплесков II типа в межпланетной среде [19]. В рамках рассмотренной модели прорыва в процессе перестройки магнитной структуры последовательно возрастает эффективность ускорения протонов, ответственных за возникновение гамма – излучения в таких вспышках. Часть энергичных протонов, контролируемая магнитными полями, возвращается вниз, к поверхности Солнца и генерирует гамма – кванты посредством распада пионов, образованных вследствие ядерных реакций. Причем область гамма – излучения может простираться на большие расстояния от области родительской вспышки. Согласно оценкам, выполненным в работе [11], количество энергичных протонов, порожденных непосредственно в области вспышки (без КВМ), может составить около 10% от общего числа протонов, создающих длительное гамма – событие.

Высокоскоростной выброс корональной массы приводит к обширным возмущениям структуры магнитных полей и плотности в корональных слоях верхней атмосферы Солнца и способен привести к образованию резервуара ускоренных протонов в этих областях, постепенное высыпание которых и создает явление длительной гамма – вспышки. Возможно, что некоторая доля энергичных протонов способна привести к генерации гамма – квантов в наиболее плотных областях плазмы самого коронального выброса, но это требует дополнительных исследований.

**Результаты и обсуждение.** Длительные временные интервалы существования потоков гамма-излучения с энергиями  $>100$  МэВ, указывают на возможность образования их на заметном удалении от Солнца, с развитием ядерных реакций протонов, ускоренных ударными волнами от движущихся корональных выбросов (события Типа I, таблица 1), в плотной плазме самих КВМ. Кроме того, в присутствии более разреженной плазмы во внешней короне Солнца увеличивается вероятность прихода к Земле потоков протонов высоких энергий.

Для событий Типа II можно допустить такую ситуацию: потоки высокоэнергичных протонов в плазме вблизи Солнца вступают в ядерные реакции с плотной плазмой КВМ и, порождая пионы, приводят к появлению гамма-излучения. Часть высокоэнергичных протонов, которая не испытывает взаимодействия с более разреженными областями плазмы КВМ, достигает околоземного пространства и демонстрирует очень небольшие потоки протонов, практически не превышающие фоновые. Выяснение возможности реализации такой ситуации требует дополнительных исследований.

Представленное на рис. 1 изменение профилей потоков высокоэнергичных протонов для события 10 сентября 2017 года, показывает практически одновременное их возрастание с потоком гамма-излучения  $>100$  МэВ. Это связано с образованием очень мощных потоков высокоэнергичных протонов в период совместного импульсного развития вспышечного процесса и коронального выброса, с возникновением гамма - квантов  $>100$  МэВ и возможного одновременного выхода в межпланетное пространство заметной части потоков протонов. Эффективность одновременного развития вспышки и КВМ в период импульсной фазы вспышек была показана в работе [15], где указывалось на важность

такого параметра, как величина скорости коронального выброса. Заметим, что во всех событиях Типа I наблюдались очень высокие линейные скорости КВМ (таблица 1).

Если рассматривать представленную физическую картину развития вспышек, сопровождавшихся КВМ, при образовании и развитии гамма-излучения  $>100$  МэВ в общем, то при выявлении их характерных особенностей можно убедиться в большом разнообразии условий в каждом событии, относящимся даже к явлениям одного типа. Примерами таких явлений могут служить две вспышки с длительным гамма – излучением из каталога [10] – 23 октября 2012 г. (балл X1.8, долгота E57) и 27 ноября 2012. (балл M1.6, долгота W73), которые не сопровождались КВМ. По-видимому, обе вспышки относились к так называемым «ограниченным» событиям, в которых не происходило крупномасштабного раскрытия магнитной структуры активных областей, однако в обеих вспышках наблюдались выбросы петель. Как недавно было показано в работе [20], модель «прорыва», ключевым элементом которой является механизм магнитного пересоединения, вполне применима и к вспышкам этого типа. Усилий потоков солнечных высокоэнергичных протонов в околоземной среде, связанных с этими событиями, не было зарегистрировано. Тем не менее, наличие высокоэнергичного гамма – излучения в этих вспышках указывает на механизм ускорения протонов высоких энергий в областях вспышек, связанный с ударными волнами. Следовательно, процесс диссипации магнитной энергии, сопровождающийся генерацией ускоренных частиц и ударных волн, происходит в этих случаях во внутренних областях магнитной конфигурации. Магнитная структура вспышечных областей должна при этом испытывать возмущения, что подтверждается регистрацией выбросов магнитных петель в обоих событиях, а вспышка 23 октября 2012 года сопровождалась появлением всплеском радиоизлучения II типа в короне, что непосредственно свидетельствует о появлении возмущения, создающего ударную волну [11].

По-видимому, вспышки как источники длительного гамма-излучения  $>100$  МэВ 23 октября 2012 года и 27 ноября 2012 года, не сопровождавшиеся КВМ, относятся к событиям Типа II, в связи с отсутствием наблюдаемых возрастаний потоков протонов с энергиями более 500 МэВ в околоземном пространстве. Подобные вспышки требуют дополнительного изучения.

**Выводы.** Отметим, что разнообразие условий в областях вспышек существенно затрудняет выявление какого-либо физического параметра, с помощью которого можно определить, к какому типу может относиться данное событие. Это указывает на то, что в каждом событии, по-видимому, существует различная степень участия высокоэнергичных протонов в ядерных реакциях, приводящих к образованию гамма-излучения с энергиями  $>100$  МэВ. Лишь в относительно редких случаях наряду с наблюдениями гамма – квантов с энергиями  $>100$  МэВ в околоземном пространстве регистрируются потоки высокоэнергичных протонов с энергиями  $>500$  МэВ.

Сопоставление физических параметров при развитии событий Типа I и Типа II показало, что источниками гамма-излучения являются иногда вполне обычные (не только мощные) вспышки, обладающие в процессе своего развития благоприятными условиями, как для ускорения протонов до высоких энергий, так и для их участия в ядерных реакциях, приводящих к образованию высокоэнергичных квантов.

*Авторы выражают благодарность коллективам ученых, курирующих проведение экспериментов на КА FERMI, GOES, SOHO, SDO за предоставление экспериментальных данных, опубликованных в Интернете.*

Работа поддержана Программой целевого финансирования BR05336383 Аэрокосмического комитета МОАП Республики Казахстан и Институтом солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской Академии наук (проект П.16.3.1).

**Минасянц Г.С.<sup>1\*</sup>, Минасянц Т.М.<sup>1</sup>, Томозов В.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты ҰҒА ҚР (ФАФИ), Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup>Күн-жер физикасы институты СБРҒА, (КЖФИ) Иркутск, Россия.

E-mail: gennadii\_minasya@mail

## **ЖАРҚ ЕТУ ӘСЕРІНЕН ШЫҒАТЫН ҰЗАҚ ГАММА-СӘУЛЕЛЕРІНДЕГІ ҮДЕМЕЛІ ПРОТОНДАР АҒЫНЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ**

**Аннотация:** энергиялары  $> 500$  МэВ болатын протондар ағындарының сипаттамаларын, жарқ ету әсерінен дамыған ұзақ  $> 100$  МэВ гамма-сәулеленуінің ағынымен салыстыру. Талдау жүргізуге біз GOES ғарыш аппаратының (ҒА) протон ағындары және Fermi / LAT ҒА гамма-сәулелену ағындары туралы 2010-2018 жылдар аралығындағы Күн белсенділігінің 24 циклында бақылаулар мәліметтерін қолдандық. Мәліметтерді талдаудың нәтижелері көрсеткендей, жарқылдардың қарастырылған сипаттамалары үш түрлі типті көрсетеді: I түрі – энергиялы протондардың ағындарымен бірге жүретін гамма-сәулелену ағынының эволюциясы; II түрі – протон ағындарының ұлғаюы болмаған кезде гамма-сәулеленудің дамуы; III түрі – протон ағындарының энергетикалық жоғарылауы байқалса, гамма-кванттарының ағыны болмайды. Белгілі «жарылу» модель негізінде энергетикалық бөлшектердің үдеу механизмдерінің өзгеруімен магниттік құрылымды ауқымды қайта құрумен қатар жүретін қуатты эруптивті жарқ етудің даму процесі сапалы сипатталады. Ұзақ мерзімді гамма оқиғаларында үдетілген протондардың бақыланатын сипаттамалары үшін мүмкін болатын түсіндірулер ұсынылды.

**Түйін сөздер:** жарқ ету, гамма – сәулелері, протондар.

**Minasyants G.S.<sup>1\*</sup>, Minasyants T.M.<sup>1</sup>, Tomozov V.M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Institute of Solar-Terrestrial Physics, Irkutsk, Russia.

E-mail: gennadii\_minasya@mail

## **CHARACTERISTICS OF ACCELERATED PROTONS FLUXES DURING THE DEVELOPMENT OF FLARES WITH PROLONGED GAMMA RADIATION**

**Abstract:** the comparison of the characteristics of proton fluxes with energies  $> 500$  MeV with fluxes of gamma radiation  $> 100$  MeV during the development of solar flares with long-term gamma radiation was made. For the analysis we used observational data on the proton fluxes with SC GOES and on the fluxes of gamma radiation from SC FERMI/LAT for the period 2010-2018 in the 24<sup>th</sup> cycle of solar activity. The results of data analysis showed that the considered flare events, according to their characteristics, represent three different types: Type I – the evolution of the gamma radiation is accompanied by observed fluxes of energetic protons; Type II – the development of gamma radiation fluxes occurs in the absence of registered increases in proton fluxes; Type III – with the observed increases in energetic proton fluxes there is no gamma flux. The process of the development of a power eruptive flare, accompanied by a large-scale rearrangement of the magnetic structure, with changes in the mechanisms of particle acceleration, is described qualitatively on the basis of the well-known breakout flare model. Possible explanations have been proposed for the whole variety of observed characteristics of accelerated protons in long-term gamma flares.

**Key words:** flares, gamma radiation, protons.

### **Information about authors:**

1. **Minasyants Gennady Sergeevich** – Fesenkov Astrophysical Institute, Leading Researcher, gennadii\_minasya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6962-2831>;

2. **Minasyants Tamara Mikhailovna** – Fesenkov Astrophysical Institute, Senior Researcher, gennadii\_minasya@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7349-3967>;

3. **Tomozov Vladimir Mikhailovich** – 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>.

## ЛИТЕРАТУРЫ:

- [1] Ackermann M., Allafort A., Baldini L. et al. Fermi-LAT observations of high - energy behind - the - limb solar flares. *Astrophys. J.* 2017, V. 835, N 219, (13 pp).
- [2] Исаева Е.С., Томозов В.М., Язев С.А. Протонные вспышки в комплексах активности на Солнце: возможные причины и следствия. *Астрономический журнал*, 2018, том 96, №3, с. 256-264. DOI: 10.7868/S0004629918030052.
- [3] Tomozov V.M., Yazev S.A., Isaeva E.S. Solar gamma-ray flares and activity complexes. *Astronomy Reports*, 2020, vol. 64, N8, pp. 722-730. DOI: 10.1134/S1063772920090073.
- [4] Алтынцев А.Т., Банин В.Г., Куклин Г.В., Томозов В.М. Солнечные вспышки. М.: Наука, 1982. 246 с.
- [5] Прист Э.Р., Форбс Т. Магнитное пересоединение. Магнитогидродинамическая теория и приложения. М.: Физматлит, 2005. 591 с.
- [6] Somov B.V. *Plasma Astrophysics: Reconnection and Flares*. New York: Springer, 2013. 504 p. DOI: 10.1016/S027 31177(97)00968-X.
- [7] Li Y., Sun X., Ding M.D., et al. Imaging observations of magnetic reconnection in a solar eruptive flare // *Astrophys. J.* 2017. V. 835, N 190. 8 p. DOI: 10.3847/1538-4357/835/2/190.
- [8] Murphy R.J., Dermer C.D., Ramaty R. High-energy processes in solar flares // *Astrophys. J. Suppl.* 1987. V. 63. p. 721–748.
- [9] Plotnikov I., Rouillard A.P. and Share G.H. The magnetic connectivity of coronal shocks from behind-the-limb flares to the visible solar surface during  $\gamma$ -ray events // *Astron. and Astrophys.* V. 608, 2017, A43, 20 p.p.
- [10] Share G.H., Murphy R.J., Tolbert A.K., et al. Characteristics of sustained >100 MeV gamma-ray emission associated with solar flares // arXiv: 1711.01511v1 [astro-ph.SR]. 2017a, p. 83.
- [11] Share G.H., Murphy R.J., Tolbert A. K., et al. Characteristics of thirty second-stage >100 MeV  $\gamma$ -ray events accompanying solar flares // *Astrophys. J. Suppl.* In review, arXiv: 1711.01511v1. GSFC. 2017b. 34 p.
- [12] Antiochos S.K., DeVore C.R., Klimchuk J.A. A model for solar coronal mass ejections // *Astrophys. J.*, v. 510, 1999, p. 485.
- [13] Gary G.A., Moore R.L. Eruption of a multiple-turn helical magnetic flux tube in a large flare: evidence for external and internal reconnection that fits the breakout model of solar magnetic eruption // *Astrophys. J.*, v. 611, 2004, pp. 545-556.
- [14] Masson S., Antiochos S.K., DeVore S.R. Escape of flare-accelerated particles in solar energetic events // *Astrophys. J.*, v. 884, p.143, 2019.
- [15] Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Особенности развития длительных потоков высокоэнергичного гамма-излучения на разных стадиях солнечных вспышек // *Солнечно-земная физика*, 2019, Т. 5, № 3, с. 28-37. DOI: 10.12737/szf-43201803.
- [16] Li R.P., Zhang J., Su J.T., Liu Y. Oscillation of current sheets in the wake of a flux rope eruption observed by Solar Dynamic Observatory // *Astrophys. J.*, v. 829, L33, (7 pp), 2016.
- [17] Warren H.P., Brooks D.H., Ugarte-Urra J.W. et al. Spectroscopic observations of current sheet formation and evolution // *Astrophys. J.*, vol. 854, issue 2, 12 pp. 2018.
- [18] Yan X.L., Yang L.H., Xue Z.K. et al. Simultaneous observation of flux rope eruption and magnetic reconnection during an X-class solar flare // *Astrophys. J.*, v. 853. L18, (7pp), 2018.
- [19] Gopalswamy N., Makela P., Yashiro S. et al. Interplanetary type II radio bursts from Wind/WAVES and sustained gamma-ray emission from Fermi/LAT: Evidence for shock source // *Astrophys. J.*, v. 868. L19 (8 pp), 2018.
- [20] Kumar P., Karpen J.T., Antiochos S.K. et al. First detection of plasmoids from breakout reconnection on the Sun // *Astrophys. J. Let.*, v. 885, L13, (11pp), 2019.

## REFERENCES:

- [1] Ackermann M., Allafort A., Baldini L. et al. Fermi-LAT observations of high-energy behind-the-limb solar flares. *Astrophys. J.* 2017, V. 835, N 219, (13 pp).
- [2] Isaeva E.S., Tomozov V.M., Yazev S.A. Proton flares in solar activity complexes: possible origins and consequences. *Astronomy Reports*. 2018. Vol. 62, No3. p.p. 243-260. DOI: 10.1134./S1063772918030058.
- [3] Tomozov V.M., Yazev S.A., Isaeva E.S. Solar gamma-ray flares and activity complexes. *Astronomy Reports*, 2020, vol. 64, N8, pp. 722-730. DOI: 10.1134/S1063772920090073.
- [4] Altyntsev A.T., Banin V.G., Kuklin G.V., Tomozov V.M. *Solar Flares*. Moscow, Science, 1982. 246 p.

- [5] Priest E.R., Forbs T. Magnetic Reconnection. Magnetohydrodynamic Theory and Applications. Moscow, Fizmatlit Publ., 2005. 591 p.
- [6] Somov B.V. Plasma Astrophysics: Reconnection and Flares. New York, Springer, 2013, 504 p. DOI: 10.1016/S02731177(97)00968-X.
- [7] Li Y., Sun X., Ding M.D. et al. Imaging observations of magnetic reconnection in a solar eruptive flare. *Astrophys. J.* 2017, vol. 835, 190, 8 p. DOI: 10.3847/1538-4357/835/2/190.1.
- [8] Murphy R.J., Dermer C.D., Ramaty R. High-energy processes in solar flares. *Astrophys. J. Suppl.* 1987, vol. 63, pp. 721–748.
- [9] Plotnikov I., Rouillard A.P. and Share G.H. The magnetic connectivity of coronal shocks from behind-the-limb flares to the visible solar surface during  $\gamma$ -ray events // *Astron. and Astrophys. V.* 608, 2017, A43, 20 p.p.
- [10] Share G.H., Murphy R.J., Tolbert A.K., Dennis B.R., White S.M., Schwartz R.A., Tylka A.J. Characteristics of sustained  $>100$  MeV ray-emission associated with solar flares. arXiv:1711.01511v1 [astro-ph.SR]. 2017a, 83 p.
- [11] Share G.H., Murphy R.J., Tolbert A.K., Dennis B.R., White S.M., Schwartz R.A., Tylka A.J. Characteristics of thirty second-stage  $>100$  MeV  $\gamma$ -ray events accompanying solar flares. *ApJ S* in review, arXiv 1711.01511v1. 2017b, 34 p.
- [12] Antiochos S.K., DeVore C.R., Klimchuk J.A. A model for solar coronal mass ejections // *Astrophys. J.*, v. 510, 1999, p. 485.
- [13] Gary G.A., Moore R.L. Eruption of a multiple-turn helical magnetic flux tube in a large flare: evidence for external and internal reconnection that fits the breakout model of solar magnetic eruption // *Astrophys. J.*, v. 611, 2004, pp. 545-556.
- [14] Masson S., Antiochos S.K., DeVore S.R. Escape of flare-accelerated particles in solar energetic events // *Astrophys. J.*, v. 884, p.143, 2019.
- [15] Minasyants G.S., Minasyants T.M., Tomozov V.M. Features of development of sustained fluxes of high-energy gamma-ray emission at different stages of solar flares // *Solar-Terrestrial Physics.* 2019. Vol. 5. No. 3. P. 10–17. DOI: 10.12737/stp-53201902.
- [16] Li R.P., Zhang J., Su J.T., Liu Y. Oscillation of current sheets in the wake of a flux rope eruption observed by Solar Dynamic Observatory // *Astrophys. J.*, v. 829, L33, (7 pp), 2016.
- [17] Warren H.P., Brooks D.H., Ugarte-Urra J.W. et al. Spectroscopic observations of current sheet formation and evolution // *Astrophys. J.*, vol. 854, issue 2, 12 pp. 2018.
- [18] Yan X.L., Yang L.H., Xue Z.K. et al. Simultaneous observation of flux rope eruption and magnetic reconnection during an X-class solar flare // *Astrophys. J.*, v. 853. L18, (7pp), 2018.
- [19] Gopalswamy N., Makela P., Yashiro S. et al. Interplanetary type II radio bursts from Wind/WAVES and sustained gamma-ray emission from Fermi/LAT: Evidence for shock source // *Astrophys. J.*, v. 868. L19 (8 pp), 2018.
- [20] Kumar P., Karpen J.T., Antiochos S.K. et al. First detection of plasmoids from breakout reconnection on the Sun // *Astrophys. J. Let.*, v. 885, L13, (11pp), 2019.

## МАЗМҰНЫ

### ФИЗИКА

<b>Бастыкова Н.Х., Коданова С.К.</b> ТЕРМОЯДРОЛЫҚ ҚАБЫРҒАЛЫҚ ПЛАЗМАДА ТОЗАҢДЫ БӨЛШЕКТЕРДІҢ ДИНАМИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ.....	6
<b>Байсеитов Қ.М.</b> КВАРК – ГЛЮОНДЫ ПЛАЗМАНЫҢ ДИЭЛЕКТРЛІК ФУНКЦИЯСЫ.....	15
<b>Досымбетова Г.Б., Сванбаев Е.А., Жуман Г.Б., Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К.</b> КОНЦЕНТРАЦИЯЛАУШЫ КРЕМНИЙЛІ КҮН БАТАРЕЯСЫН ЖАСАУ.....	25
<b>Джазаиров-Кахраманов А.В., Имамбеков О., Карипбаева Л.Т., Стеблякова А.А.</b> ${}^8\text{Li}(p,\gamma){}^9\text{Be}$ ҚАРМАУЫ КЕЗІНДЕ СӘЙКЕС ${}^9\text{Be}$ АСТРОФИЗИКАЛЫҚ СИНТЕЗІ ҮШІН РЕАКЦИЯ ЖЫЛДАМДЫҒЫНА РЕЗОНАНСТАРЫНЫҢ МӘНІ.....	31
<b>Исмагамбетова Т.Н., Габдуллин М.Т., Ramazanov T.S.</b> ЖАРТЫЛАЙ АЗҒЫНДАЛҒАН КВАЗИКЛАССИКАЛЫҚ ИОНДАРЫ БАР ТЫҒЫЗ СУТЕГІ ПЛАЗМАСЫНЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....	41
<b>Ибраев А.Т.</b> ЗАРЯДТАЛҒАН БӨЛШЕКТЕР КӨЗДЕРІНІҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ ТЕОРИЯСЫН ЖЕТІЛДІРУ.....	47
<b>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., В.М. Томозов</b> ЖАРҚ ЕТУІ САЛДАРЫНАН ДАМЫҒАН ҰЗАҚ ГАММА – СӨУЛЕЛЕРІНІҢ ҮДЕМЕЛІ ПРОТОНДАР АҒЫНЫНЫҢ СИПАТТАМАСЫ.....	55
<b>Садыков Т.Х., Аргынова А.Х., Жуков В.В., Новолодская О.А., Пискаль В.В.</b> «АДРОН-55» ТЯНЬ-ШАНЬ ИОНДАУШЫ - НЕЙТРОНДЫ КАЛОРИМЕТРІНІҢ ПЕРИФЕРИЯЛЫҚ ДЕТЕКТОРЛАРЫН ЖАҢҒЫРТУ».....	65
<b>Саяков О., Жао Я., Машекова А.</b> 3D СҰЙЫҚТЫҚ ПЕН ҚҰРЫЛЫМНЫҢ ЕКІ ЖАҚТЫ ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУІМЕН ҚАНАТТЫ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ ТАЛДАУ.....	75
<b>Терещенко В.М.</b> СПЕКТРОФОТОМЕТРЛІК СТАНДАРТТАРДЫҢ ЖИНАҚТАЛҒАН КАТАЛОГЫН ҚҰРУДЫҢ ПАЙДАСЫ ТУРАЛЫ.....	82
<b>ИНФОРМАТИКА</b>	
<b>Дайырбаева Э.Н., Ерімбетова А.С., Тойгожинова А.Ж.</b> ӘР ТҮРЛІ МАТРИЦАЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, СТРИП ӘДІСІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КЕСКІНДІ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ НӘТИЖЕЛЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ.....	89
<b>Калижанова А., Вуйчик В., Кунельбаев М., Козбакова А., Амиргалиева Ж.</b> МАТЛАВ ОРТАСЫНДА КӨЛБЕУ БРЭГГ ТОРЫ БАР ТАЛШЫҚТЫ -ОПТИКАЛЫҚ СЕНСОРДЫҢ СПЕКТРЛІК СИПАТТАМАЛАРЫН МОДЕЛЬДЕУ.....	96
<b>Жантаев Ж.Ш., Қайранбаева А.Б., Қиялбаева А.К., Нұрпейсова Г.Б., Панюкова Д.В.</b> ЗИЯТКЕРЛІК БОЛЖАУҒА АРНАЛҒАН МАҒЛҰМАТ ЖИНАУ: ӘДІСТЕР МЕН НӘТИЖЕЛЕР.....	108

## МАТЕМАТИКА

<b>Айсағалиев С.А., Севрюгин И.В., Исаева З.Б., Игликова М.Н.</b> ШЕКТЕУЛЕР МЕН СЫЗЫҚТЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІ ТИІМДІ БАСҚАРУ.....	118
<b>Дауылбаев М.Қ., Атахан Н., Асет Н.</b> СИНГУЛЯРЛЫ АУЫТҚЫҒАН ИНТЕГРАЛДЫ-ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУ ҮШІН БАСТАПҚЫ СЕКІРІСТІ ШЕТТІК ЕСЕБІ ШЕШІМІНІҢ АСИМПТОТИКАЛЫҚ ЖІКТЕЛУІ.....	126
<b>Есмағамбетов Б.С., Апсеметов А.Т., Балабекова М.О., Каюмов К.Г., Джакибаев А.Ш.</b> КЕЗДЕЙСОҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ҰҚТИМАЛДЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ПАРАМЕТРЛІК ЕМЕС БАҒАЛАУ.....	136
<b>Иманбаев Н.С.</b> КВАЗИСИНГУЛЯРЛЫ ИНТЕГРАЛДЫҚ ТЕНДЕУДІҢ ИНДЕКСІН ЕСЕПТЕУДІҢ ТОПОЛОГИЯЛЫҚ БІР ӘДІСІ ЖАЙЛЫ.....	143
<b>Мырканова А.М., Аканова К.М., Ластовецкий А.Л.</b> ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ЭКОНОМИКАЛЫҚ КЕҢІСТІГІНІҢ АНИЗОТРОПИЯСЫ.....	151
<b>Омарова Г.Т., Омарова Ж.Т.</b> К ОБРАТНОЙ ЗАДАЧЕ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ.....	165

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФИЗИКА

<b>Бастыкова Н.Х., Коданова С.К.</b> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ПРИСТЕНОЧНОЙ ТЕРМОЯДЕРНОЙ ПЛАЗМЕ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ.....	6
<b>Байсеитов К.М.</b> ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ КВАРК-ГЛЮОННОЙ ПЛАЗМЫ.....	15
<b>Досымбетова Г.Б., Сванбаев Е.А., Жуман Г.Б., Нұрғалиев М.К., Саймбетов А.К.</b> РАЗРАБОТКА КОНЦЕНТРИРУЮЩИХ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ.....	25
<b>Джазаиров-Кахраманов А.В., Имамбеков О., Карипбаева Л.Т., Стеблякова А.А.</b> ЗНАЧЕНИЕ РЕЗОНАНСОВ НА СКОРОСТЬ РЕАКЦИИ ПРИ ${}^8\text{Li}(p,\gamma){}^9\text{Be}$ ЗАХВАТЕ ДЛЯ СООТВЕТСТВУЮЩЕГО АСТРОФИЗИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ${}^9\text{Be}$ .....	31
<b>Исмагамбетова Т.Н., Габдуллин М.Т., Ramazanov T.S.</b> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛОТНОЙ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ С ЧАСТИЧНО ВЫРОЖДЕННЫМИ КВАЗИКЛАССИЧЕСКИМИ ИОНАМИ.....	41
<b>Ибраев А.Т.</b> КОРРЕКТИРОВКА ТЕОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ИСТОЧНИКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ.....	47
<b>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М.</b> ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКОВ УСКОРЕННЫХ ПРОТОНОВ ПРИ РАЗВИТИИ ВСПЫШЕК С ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫМ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕМ.....	55
<b>Садыков Т.Х., Аргынова А.Х., Жуков В.В., Новолодская О.А., Пискаль В.В.</b> МОДЕРНИЗАЦИЯ ПЕРИФЕРИЙНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ТЯНЬ-ШАНСКОГО ИОНИЗАЦИОННО-НЕЙТРОННОГО КАЛОРИМЕТРА «АДРОН-55».....	65
<b>Саяков О., Жао Я., Машекова А.</b> 3D АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРЫЛА С ДВУСТОРОННИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ЖИДКОСТИ И КОНСТРУКЦИИ.....	75
<b>Терещенко В.М.</b> О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОЗДАНИЯ СВОДНОГО КАТАЛОГА СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.....	82

### ИНФОРМАТИКА

<b>Дайырбаева Э.Н., Еримбетова А.С., Тойгожинова А.Ж.</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СТРИП-МЕТОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МАТРИЦ.....	89
<b>Калижанова А., Вуйчик В., Кунельбаев М., Козбакова А., Амиргалиева Ж.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА С НАКЛОННОЙ РЕШЕТКОЙ БРЭГГА В СРЕДЕ MATLAB.....	96
<b>Жантаев Ж.Ш., Кайранбаева А.Б., Киялбаев А.К., Нурпеисова Г.Б., Панюкова Д.В.</b> СБОР ДАННЫХ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ: МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ.....	108

## МАТЕМАТИКА

<b>Айсагалиев С.А., Севрюгин И.В., Исаева З.Б., Игликова М.Н.</b> ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ.....	118
<b>Дауылбаев М.Қ., Атахан Н., Асет Н.</b> АСИМПТОТИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ РЕШЕНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ С НАЧАЛЬНЫМИ СКАЧКАМИ ДЛЯ СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННОГО ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ.....	126
<b>Есмагамбетов Б.С., Апсеметов А.Т., Балабекова М.О., Каюмов К.Г., Джакибаев А.Ш.</b> НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	136
<b>Иманбаев Н.С.</b> ОБ ОДНОМ ТОПОЛОГИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К ВЫЧИСЛЕНИЮ ИНДЕКСА КВАЗИСИНГУЛЯРНОГО ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ.....	143
<b>Мырканова А.М., Аканова К.М., Ластовецкий А.Л.</b> АНИЗОТРОПИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН....	151
<b>Омарова Г.Т., Омарова Ж.Т.</b> К ОБРАТНОЙ ЗАДАЧЕ НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ.....	159

## CONTENTS

### PHYSICS

<b>Bastykova N.Kh., Kodanova S.K.</b> COMPUTER SIMULATION OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF DUST PARTICLES IN THE EDGE FUSION PLASMA.....	6
<b>Baiseitov K.M.</b> DIELECTRIC FUNCTION OF QUARK-GLUON PLASMA.....	15
<b>Dosymbetova G.B., Svanbayev Ye.A., Zhuman G.B., Nurgaliyev M.K., Saymbetov A.K.</b> DEVELOPMENT OF CONCENTRATING SILICON SOLAR CELLS.....	25
<b>Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Imambekov O., Karipbayeva L.T., Steblyakova A.A.</b> THE ROLE OF RESONANCES IN THE CAPTURE OF ${}^8\text{Li}(p,\gamma){}^9\text{Be}$ ON THE REACTION RATE OF THE RELEVANT ASTROPHYSICAL SYNTHESIS OF ${}^9\text{Be}$ .....	31
<b>Ismagambetova T.N., Gabdullin M.T., Ramazanov T.S.</b> THERMODYNAMIC PROPERTIES OF DENSE HYDROGEN PLASMAS WITH PARTIALLY DEGENERATE SEMICLASSICAL IONS.....	41
<b>Ibrayev A.T.</b> CORRECTION OF THE THEORY OF RESEARCHING THE PROPERTIES OF CHARGED PARTICLES SOURCES.....	47
<b>Minasyants G.S., Minasyants T.M., Tomozov V.M.</b> CHARACTERISTICS OF ACCELERATED PROTONS FLUXES DURING THE DEVELOPMENT OF FLARES WITH PROLONGED GAMMA RADIATION.....	55
<b>Sadykov T.Kh., Argynova A.Kh., Jukov V.V., Novolodskaya O.A., Piskal' V.V.</b> MODERNIZATION OF THE PERIPHERAL DETECTORS OF TIEN-SHAN IONIZATION- NEUTRON CALORIMETER DETECTORS "HADRON-55".....	65
<b>Sayakov O., Zhao Y., Mashekova A.</b> 3D AERODYNAMIC ANALYSIS OF AWING WITH 2-WAY FLUID-STRUCTURE INTERACTION.....	75
<b>Tereshchenko V.M.</b> ABOUT EXPEDIENCY OF CREATION COMPILE CATALOGUE OF SPECTROPHOTOMETRIC STANDARDS.....	82

### COMPUTER SCIENCE

<b>Daiyrbayeva E., Yerimbetova A., Toigozhinova A.</b> COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF IMAGE RECOVERY BASED ON THE STRIP METHOD USING VARIOUS MATRICES.....	89
<b>Kalizhanova A., Wojcik W., Kunelbayev M., Kozbakova A., Amirgaliyeva Zh.</b> MODELING SPECTRAL CHARACTERISTICS OF FIBER-OPTIC SENSOR WITH TILTED BRAGG GRATING IN MATLAB MEDIUM.....	96
<b>Zhantayev Zh., Kairanbayeva A., Kiyalbayev A., Nurpeissova G., Panyukova D.</b> DATA COLLECTION FOR INTELLECTUAL FORECASTING: METHODS AND RESULTS.....	108

## MATHEMATICS

<b>Aisagaliev S.A., Sevryugin I.V., Issyaeva Z.B., Iglukova M.N.</b> OPTIMAL CONTROL OF LINEAR SYSTEMS WITH CONDITIONS.....	118
<b>Dauylbayev M.K., Atakhan N., Asset N.</b> ASYMPTOTIC EXPANSION OF SOLUTION OF BVP WITH INITIAL JUMPS FOR SINGULARLY PERTURBED INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATION.....	126
<b>Yesmagambetov B.B., Apsemetov A., Balabekova M.O., Kayumov K.G., Jakibayev A.</b> NON-PARAMETRIC ESTIMATION OF PROBABILISTIC CHARACTERISTICS OF RANDOM PROCESSES.....	136
<b>Imanbaev N.S.</b> ON A TOPOLOGICAL METHOD FOR CALCULATING THE INDEX OF QUASI-SINGULAR INTEGRAL EQUATION.....	143
<b>Myrkanova A.M., Akanova K.M., Lastovetsky A.L.</b> ANISOTROPY OF ECONOMIC SPACE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN.....	151
<b>Omarova G.T., Omarova Zh.T.</b> TO THE INVERSE PROBLEM OF CELESTIAL MECHANICS.....	159

**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](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://www.nauka-nanrk.kz)**

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

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

Редакторы: *М.С. Ахметова, А. Ботанқызы, Д.С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*  
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 15.08.2021.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
4,6 п.л. Тираж 300. Заказ 4.