

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ГЛАВНАЯ (ПУЛКОВСКАЯ) АСТРОНОМИЧЕСКАЯ  
ОБСЕРВАТОРИЯ

**СОЛНЕЧНАЯ  
И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНАЯ ФИЗИКА — 2022**

***XXVI ВСЕРОССИЙСКАЯ ЕЖЕГОДНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО ФИЗИКЕ СОЛНЦА***

3 – 7 октября 2022 года

***СБОРНИК ТЕЗИСОВ***

(Версия от 6 октября 2022 г.)

Санкт-Петербург  
2022

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на XXVI Всероссийскую ежегодную конференцию по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика — 2022» (3 – 7 октября 2022 года, ГАО РАН, Санкт-Петербург). Конференция проводится Главной (Пулковской) астрономической обсерваторией РАН при поддержке секции «Солнце» Научного совета по астрономии РАН и секции «Плазменные процессы в магнитосферах планет, атмосферах Солнца и звёзд» Научного совета «Солнце-Земля». Тематика конференции включает в себя широкий круг вопросов по физике солнечной активности и солнечно-земным связям.

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

А.В. Степанов (*ГАО РАН, сопредседатель*), В.В. Зайцев (*ИПФ РАН, сопредседатель*), Ю.А. Наговицын (*ГАО РАН, зам. председателя*), В.И. Абраменко (*КРАО*), В.М. Богод (*САО РАН*), К. Георгиева (*ИКСИ-БАН, Болгария*), В.А. Дергачев (*ФТИ РАН*), М.М. Кацова (*ГАИШ*), Л.Л. Кичатинов (*ИСЗФ СО РАН*) Н.Г. Макаренко (*ГАО РАН*), В.Ф. Мельников (*ГАО РАН*) В.Н. Обридко (*ИЗМИРАН*), А.А. Соловьёв (*ГАО РАН*), Д.Д. Соколов (*МГУ*), А.Г. Тлатов (*ГАС ГАО РАН*), Ю.Т. Цап (*КрАО РАН*).

## Проявления турбулентной составляющей глобального солнечного динамо

*Абраменко В.И.*

*КрАО РАН, Научный; e-mail: vabramenko@gmail.com*

Модель Бэбкока-Лейтона предполагает, что магнитное поле генерируется в виде тороидальных трубок в глубине конвективной зоны, трубки слегка наклонены по отношению к экватору, так что когда они появляются на поверхности, то они образуют биполь, у которого лидирующее пятно расположено ближе к экватору. При этом для биполей выполняется еще ряд хорошо известных эмпирических правил. Это работа регулярной составляющей динамо-процесса. Однако, подъем трубок происходит в турбулентной среде, где неизбежны взаимные влияния между турбулентными потоками плазмы и магнитным полем. В результате должна неизбежно присутствовать и турбулентная составляющая динамо. На поверхности мы наблюдаем их совместный результат, и разделить компоненты практически невозможно. Один из способов выявить турбулентную компоненту – разделить магнитный поток от всех активных областей (АО) на диске Солнца на составляющие, связанные с регулярными биполями (по модели Бэбкока-Лейтона) и с нерегулярными АО, структура которых подвержена турбулентному вмешательству в процессе подъема. При этом желательно, чтобы степень турбулентного вмешательства нарастала для подклассов АО. Такая классификация была разработана и применена к АО 23-го и 24-го циклов. Оказалось, что общая форма цикла определяется бипольными АО, а тонкая структура максимумов цикла определяется наиболее нерегулярными АО. Вклады регулярных и нерегулярных АО в общий поток близки (по 45-50%). Самый глубокий минимум достигается всеми типами АО одновременно. В минимуме остаются только самые простые бипольные структуры. Экстремальная вспышечная активность обусловлена самыми нерегулярными АО. Можно сделать вывод, что динамо работает как единый процесс и генерирует поток всяких АО ( $> 10^{21}$  Мх), а турбулентная составляющая динамо определяет обилие нерегулярных АО, тонкую структуру цикла и экстремальную вспышечную продуктивность.

## Предвспышечные флуктуации микроволнового излучения активных областей

*Абрамов-Максимов В.Е.<sup>1</sup>, Бакунина И.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ГАО РАН, Санкт-Петербург; e-mail: [beat@gaoran.ru](mailto:beat@gaoran.ru)

<sup>2</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Нижний Новгород

Исследованы квазипериодические пульсации (КПП) микроволнового излучения активных областей (АО) перед вспышками. Использовались данные наблюдений на радиогелиографе Нобеяма (корреляционные кривые) и радиополяриметрах Нобеяма. Рассмотрены все вспышки X, M и C классов, которые произошли в интервал времени наблюдений в Нобеяме. В значительной части рассмотренных случаях перед вспышками наблюдается появление (или значительное усиление) флуктуационных процессов. Периоды КПП оказались в различных случаях разные: от 3-х до нескольких десятков минут. При этом длительность предвспышечных цугов колебаний в периодах колебаний во всех случаях оказалась примерно одинаковой и не превышает 10 импульсов. Характер предвспышечных флуктуаций в разных случаях различный. В некоторых событиях наблюдаются почти гармонические колебания, в некоторых — больше похожи на последовательность слабых вспышек. Возможно, природа предвспышечных флуктуаций в разных событиях различная.

## Солнечные протонные события и Форбуш-эффекты с одними и теми же источниками

*Абунина М.А., Шлык Н.С., Белов А.В., Абунин А.А.*

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения  
радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Москва, Троцук;  
e-mail: abunina@izmiran.ru*

Исследуются характеристики Форбуш-эффектов (ФЭ) и солнечных протонных событий (СПС), вызванных одним и тем же солнечным источником — солнечной вспышкой, связанной с корональным выбросом массы (КВМ). Был выбран диапазон гелиодолгот (E05-W35), в котором большинство солнечных событий приводит как к ФЭ, так и к СПС на Земле. СПС для разных энергий ( $E > 10$  МэВ,  $E > 100$  МэВ) и с разными порогами потоков частиц, а также GLE, рассматривались независимо. Полученные результаты сравнивались с контрольной группой событий, имевших солнечные источники в той же долготной зоне, но не приводивших к СПС. Показано, что КВМ, сопровождающиеся СПС, с большой вероятностью вызывают значительный Форбуш-эффект на орбите Земли и геомагнитную бурю. Показано, что ускорительная и модуляционная эффективности таких солнечных событий взаимосвязаны, что, в основном, объясняется высокими скоростями родительских КВМ. На практике данные результаты могут применяться для улучшения прогнозов геомагнитных бурь и крупных Форбуш-эффектов.

## Микроволновая энергетика межзвёздного межпланетного пространства: Модельное описание

*Авакян С.В., Баранова Л.А.*

<sup>1</sup> *Всероссийский Научный Центр «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова»*

<sup>2</sup> *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
Санкт-Петербург, Россия; e-mail: l.baranova@mail.ioffe.ru*

С помощью подходов, развитых в рамках супрамолекулярной солнечно-земной физики, продолжено исследование [1] эффектов в межзвёздных молекулярных облаках, возникающих под воздействием двух источников микроволнового излучения: реликтового излучения Вселенной и излучения Солнца в миллиметровом диапазоне. Для межзвёздных газопылевых облаков мы пользуемся моделью, апробированной в Бюраканской астрофизической обсерватории Республики Армения [2] с преобладанием  $H_2$ , для которой характерен диапазон концентраций  $\sim 10^2\text{--}10^4\text{ см}^{-3}$ . Основным источником ионизации во внутренних частях облака при этом являются космические лучи, которые ионизируют атомы и молекулы водорода с образованием молекулярного иона  $H_3^+$ , инициирующего цепочку ион-молекулярных реакций с образованием простых гидридов (вода, аммиак, метан). Как и в предшествующих наших работах по физике окружающей среды и гелиобиологии, в проведённом рассмотрении учтён предложенный ранее известный [3], с. 415, механизм образования надмолекулярных структур при переходе протона в виде полиатомных Ридберговских молекул из прародительских молекул межзвёздных облаков с большим сродством к протону:  $H_2$ ,  $H_2O$  и др. Возникающие в результате молекулярные ассоциаты в ридберговском состоянии на крайне высоких энергетических уровнях очень чувствительны (из-за необычно большой величины матричных элементов для электрических дипольных переходов между соседними ридберговскими уровнями) к внешнему облучению в микроволновом — начиная уже с миллиметрового, диапазоне [3]. Следовательно, возможно дополнение каналов известного «мазерного эффекта в космосе» при учёте вынужденного (индуцированного) излучения, чувствительного к тепловому равновесному излучению среды с высоковозбуждённых уровней Ридберговских молекул. В космологии Вселенной это — реликтовое излучение с энергетическим максимумом как раз в микроволновом диапазоне (от 6 до 0,6 мм). В Солнечной системе — это мм-излучение Солнца, на порядок превышающее (на орбите Земли) уровень реликтового фона. Это позволяет использовать именно его энергетiku при межпланетных перелётах к Марсу и далее, вплоть до пояса астероидов на пути к Юпитеру в предлагаемой в работах [4, 5] схеме полётов с использованием микроволновой энергии межзвёздных/межпланетных облаков. В докла-

де представляется энергетическая оценка для таких полётов в сравнении с двумя литературными аналогами: маршевыми электроракетными двигателями [6] и двигателями для звездолёта А. Бонда [7]. Получено, что уже при средних значениях плотности среды энергетические возможности предлагаемой схемы соответствуют интервалу табличных значений тяги для типовых ЭРД [6]. Учёт эффекта скоростного напора, предлагаемого в аналоге для звездолётного двигателя А. Бондом, позволяет в нашей схеме с использованием микроволновой энергетики Космоса получать, возможно, на порядки большие величины реальной тяги. В [1], для верификации предложенной схемы космических перелётов [4, 5], с учётом возможного вклада индуцированного (вынужденного) потока микроволн, выполнены квантовомеханические оценки для мощного магнетара [9] с целью показа, что зарегистрированное расщепление во времени микроволнового импульса на частотах от 1,4 до 8,4 ГГц по сравнению с гамма -всплеском связаны, возможно, с вкладом цепи последовательных актов индуцированного испускания в переходах с ридберговских уровней с главным квантовым числом от  $n \sim 1000$  и до  $n$  в несколько десятков и сотен [9], с. 123.

- [1] Авакян С. В., Баранова Л.А. Использование результатов супрамолекулярной солнечно-земной физики при решении космологических проблем: 1. Экспериментальные предпосылки. 2. Модельное описание // Труды XXV Всероссийской ежегодной научной конференции «Солнечная и солнечно-земная физика». / Под ред. Степанова А.В., Наговицына Ю.А. 4-8 окт. 2021 г. ГАО РАН. Пулковое. 2021. С. 23-30.
- [2] Егикян А.Г., Об облучении пыли в молекулярных облаках. 1. // Астрофиз, 2009, 52, 311.
- [3] Gallas J.A.C., Leuchs G., Wallher H., Figger H. Rydberg atoms: high-resolution spectroscopy and radiation interaction — Rydberg molecules // Adv. in Atomic and Molec. Phys. V. 20. P. 413-466. 1985.
- [4] Авакян С.В., Баранова Л.А., Ковалёнок В.В., Савиных В.П. Первооткрыватель роли ридберговского возбуждения микроволнового излучения в дальнем космосе ( К 90-летию академика Н.С. Кардашева) Доклад, включённый Программным и Организационным комитетами в программу Первого заседания Конференции АКЦ ФИАНа «Вселенная: от большого взрыва до наших дней», посвящённой 90-летию НС Кардашева, М.: АКЦ ФИАНа, 25-26.04.22, 9 с.
- [5] Avakyan S.V., Baranova L.A., Kovalenok V.V., Savinykh V.P. Using the results of supramolecular solar-terrestrial physics for the development of astronautics // RNAS of Armenia, 2022. V.122, № 3, (in press).
- [6] Космонавтика. Энциклопедия. /Гл. ред. Глушко В.П. М.: Изд-во «Советская энциклопедия».1985. 528 с.

- [7] Gatland K. The illustrated Encyclopedia "SpaceTechnology. A comprehensive history of space exploration". Salamander Books LTD, L.: 1982, 295 p.
- [8] Степанов А.В., Радиоизлучение магнетаров // Вторая Всероссийская конференция «Наземная радиоастрономия в России. XXI век. Памяти Ю.Н. Гнедина и Д.А. Варшаловича». 21-25 сент. 2020 г., САО РАН.
- [9] Сороченко Р.Л., Гордон М.А., Рекомбингационные радиолнии. Физика и астрономия. М., ФИЗМАТЛИТ, 2003, 391 с. Космонавтика. Энциклопедия под ред ВП Глушко

## Об особой роли уходящих вверх хромосферных токов в нагреве короны

*Алексеева Л.М.<sup>1</sup>, Кшевецкий С.П.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени  
Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва;  
e-mail: l.m.alekseeva@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Балтийский федеральный университет им. И. Канта,  
Калининград; e-mail: spkshev@gmail.com*

Теоретически изучены последствия поступления слабого магнитного поля в верхнюю хромосферу Солнца. Силовые линии поля предполагаются горизонтальными, скорость вещества вдоль них отсутствует, а значения физических величин вдоль них не меняются. Численно была решена полностью самосогласованная 2D-система нелинейных столкновительных уравнений одножидкостной резистивной магнитогидродинамики с учетом эффекта Холла и теплопроводности. Установлено, что в ходе совместной эволюции поля и плазмы ток, изначально направленный вверх, чаще принимает форму тонкого токового слоя и дольше существует в этом виде, чем ток вниз.

В предположении медленного изменения величин по вертикали аналитически найдена область значений параметров плазмы, где, независимо от общего вида магнитных неоднородностей, токи вниз деградируют (размываются), а токи вверх резко увеличивают свою плотность. Принципиальная разница в поведении токов возникает в том случае, когда омическая диссипация и снос силовых линий из-за их частичной вмороженности оказывают меньшее влияние на изменения магнитного поля, чем эффект Холла в присутствии градиента плотности плазмы, создаваемого силой тяжести. Показано, что минимальная высота, где реализуется этот случай чистой градиентно-холловской эволюции магнитного поля, соответствует нижней границе короны. Омическая диссипация самопроизвольно концентрирующихся токов может отвечать за нагрев, создающий корону.

**Магнитное поле солнечных пятен по измерениям  
в обсерватории Маунт-Вилсон и радиоизлучение F10.7  
на фазе спада и минимума 24 цикла**

*Азтемов З.С., Цап Ю.Т., Малащук В.М.*

*ФГБУН «КрАО РАН»; e-mail: azis@crao.crimea.ru*

Проведен сравнительный анализ эволюции максимальных напряженностей магнитного поля пятен, полученных в Mount Wilson Observatory и спектрального потока радиоизлучения на частоте 2.8 ГГц (F10.7) на фазе спада и минимума 24-го цикла (2015-2019 гг.) солнечной активности. За указанный выше период обнаружен аномальный характер поведения магнитного поля пятен с напряженностью  $> 1500$  Гс, что хорошо согласуется с результатами наблюдений на телескопе БСТ-2 КрАО РАН. Несмотря на незначительный рост усредненных значений магнитного поля с 2015 по 2017 гг., каких-либо особенностей на диаграмме рассеяния F10.7 и чисел Вольфа не обнаружено. Это свидетельствует об определяющем вкладе в индекс солнечной активности F10.7 теплового тормозного механизма радиоизлучения. В свете полученных результатов обсуждается влияние циклотронного радиоизлучения активных областей на особенности поведения индекса F10.7 на больших временных и пространственных масштабах.

**Особенности корональных магнитных структур  
в бессиловом приближении для активных областей  
со вспышками рентгеновского класса М,  
сопровождающимися и не сопровождающимися  
корональными выбросами масс**

**Бакунина И.А.<sup>1</sup>, Мельников В.Ф.<sup>2</sup>,  
Абрамов-Максимов В.Е.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Нижний Новгород; e-mail: rinbak@mail.ru*

<sup>2</sup> *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург; e-mail: v.melnikov@gaoran.ru*

Восстановление магнитного поля в нелинейном бессиловом приближении на основе векторных магнитограмм SDO/HMI для группы вспышек рентгеновского класса М, половина из которых сопровождались корональными выбросами масс (СМЕ), позволило выявить разные стадии формирования магнитных жгутов в области вспышки за несколько часов до нее. На основе наблюдений SDO/HMI, а также на радиогелиографе Нобеяма и SDO/AIA, выявлены различия в наблюдательных признаках в предвспышечной и поствспышечной фазах для событий с СМЕ и без них.

## Моделирование скорости солнечного ветра на основе различных параметров коронального магнитного поля

*Березин И.А., Тлатов А.Г.*

*ГАС ГАО РАН, Кисловодск; e-mail: tlatov@mail.ru*

Модель солнечного ветра (СВ) Wang-Shelley-Argе (WSA) основана на идее о том, что слабо расширяющиеся трубки коронального магнитного поля связаны с источниками быстрого СВ и наоборот. Для определения степени расширения магнитных трубок используется параметр под названием «фактор расширения» (ФР). ФР рассчитывается на основе модели коронального магнитного поля, как правило, в потенциальном приближении. Вторым входным параметром модели WSA является расстояние от основания линии магнитного поля на фотосфере до края соответствующей корональной дыры. Эти два параметра коронального магнитного поля связываются эмпирическим соотношением со скоростью солнечного ветра вблизи Солнца. Данный подход в полной мере не объясняет механизмы формирования СВ.

Мы предлагаем для моделирования солнечного ветра использовать другие параметры магнитного поля, такие как: длина силовых линий, абсолютная величина магнитного потока на источнике ветра, расстояние до гелиосферного токового слоя и другие. Для восстановления структуры магнитного поля в короне мы используем как потенциальное приближение (PFSS-модель), так и некоторые токовые приближения. Мы проанализировали ряд возможных параметров, определяющих скорость солнечного ветра, по данным наблюдений в Кисловодске (СТОП), Стэнфорде (WSO), а также на спутнике SDO/HMI. Было обнаружено, что, отказавшись от использования ФР, можно добиться корреляции между скоростью модельного и наблюдаемого СВ не хуже или лучше, чем с использованием стандартной модели WSA.

**Восстановление крупномасштабного магнитного поля  
методом аппроксимации I-профилей Стокса**

***Березин И.А., Тлатов А.Г.***

*ГАС ГАО РАН, Кисловодск; e-mail: tlatov@mail.ru*

Мы представляем процедуру восстановления магнитного поля по данным наблюдений полного профиля спектральных магнитных линий. Метод основан на быстром алгоритме поиска аппроксимационных кривых для полных профилей магниточувствительных линий 6301А и 6303А. Магнитное поле вычисляется как расстояние между центрами I-профилей разных поляризационных компонент. Такой подход позволяет проводить вычисления достаточно быстро без необходимости анализа V-профилей Стокса в тех или иных приближениях. Представленный метод позволяет снизить шум в картах крупномасштабного магнитного поля и повысить точность измерений, в первую очередь, слабых полей. Метод опробован для восстановления крупномасштабного магнитного поля по данным наблюдений на телескопе-магнитографе полного диска Солнца СТОП (Кисловодск).

## О механизме возбуждения солнечных всплесков I типа

*Беспалов П.А.*

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород;  
e-mail: pbespalov@mail.ru*

По современным представлениям шумовые бури I типа метрового диапазона длин волн (50-300 МГц), состоящие из большого числа узкополосных коротких всплесков, возбуждаются в разреженной солнечной короне. Для этих излучений характерна высокая яркостная температура и круговая поляризация. Несмотря на многие успехи теории и уверенность в том, что механизм формирования излучений когерентный, в настоящее время нет общепринятого понимания природы шумовых бурь первого типа. В данной работе показано, что многие свойства излучения можно объяснить как результат реализации *BPA* (beam pulse amplifier) механизма в разреженной замагниченной плазме с энергичными электронами. Короткие шумовые электромагнитные импульсы с подходящей несущей частотой, с круговой поляризацией и углом волновой нормали могут усиливаться в слое плазмы с предельно высоким темпом, характерным для неустойчивости квазигидродинамического типа. При реализации указанного механизма высокую энергетику и темп изменения спектральных форм излучений можно объяснить даже при отсутствии заметной анизотропии функции распределения энергичных электронов.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-12-00268).

## **Закономерности формирования и циклических вариаций солнечных магнитных полей разных масштабов в 21-25 циклах**

*Биленко И.А.*

*Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва; e-mail: bilenko@sai.msu.ru*

На основе данных наблюдений наземных и космических обсерваторий проведено исследование магнитных полей Солнца в 21-25 циклах солнечной активности. Регистрируемые солнечные магнитные поля представляют собой сложную суперпозицию постоянно эволюционирующих магнитных образований различных по пространственным и временным масштабам. Потоками солнечного ветра эти магнитные поля выносятся в межпланетное пространство формируя межпланетное магнитное поле регистрируемое и на различных космических аппаратах на разных расстояниях от Солнца, и, в основном, на орбите Земли.

Представлены результаты исследования закономерностей циклических вариаций магнитных полей различных масштабов в 21-25 циклах. Сопоставлено их поведение на фазах минимума и роста солнечной активности в 21-25 циклах и на фазах максимума и спада солнечной активности в 21-24 циклах.

Проведен анализ формирования и эволюции зональных и секторных структур глобального магнитного поля как в каждом отдельном цикле, так и сравнение их поведения в разных циклах. Выявлена зависимость интенсивности магнитного поля от степени хаотичности структурной организации глобального магнитного поля в каждом цикле.

Рассмотрены взаимозависимости параметров глобального магнитного поля Солнца и активных областей на разных фазах солнечной активности.

## О новых возможностях наблюдения рекомбинационных линий в солнечной короне

*Богод В.М., Лебедев М.К., Овчинникова Н.Е., Рипак А.М.,  
Стороженко А.А., Курочкин Е.А.*

*СПбФ САО РАН, Санкт-Петербург e-mail: vbog\_spb@mail.ru*

Исследования рекомбинационных линий являются принципиальным методом изучения физических условий в космической плазме. Активно изучаются линии в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах с помощью спутниковых обсерваторий. Попытки обнаружения рекомбинационных линий в радиоизлучении солнечной короны предпринимались неоднократно [1, 2, 3]. Поиски радиолнии  $2^2P_{3/2} - 2^2S_{1/2}$  на волне 2.05 см с помощью разных инструментов и радиотелескопа РАТАН-600 указывают на нерегулярную регистрацию этой линии, ввиду ряда причин. Сложность проблемы состоит в реализации технического и методического подходов в проведении наблюдательного мониторинга. В связи с проведением существенных изменений в идеологии радиоспектроскопии [4] начата работа по созданию серии широкодиапазонных спектральных комплексов с перекрытием несколько октав. Здесь мы представляем результаты первых серий наблюдений на комплексе в диапазоне 1-3 ГГц для поиска и изучения квазипериодических пульсаций в солнечной короне, которые используются как инструмент для изучения важных спектральных параметров в структурах активных областей. Методика обработки многоканальных данных позволяет выделять слабые сигналы в короне Солнца на мощных фоновых сигналах.

Попутным результатом этих наблюдений явились регистрации узкополосного поглощения в частотной полосе 1560 МГц–1665 МГц вблизи известной линии поглощения ОН (1612 МГц–1720 МГц). Обсуждаются возможные пути объяснения природы такого поглощения в короне Солнца.

- [1] А. Ф. Дравских, Известия ГАО 164, 128 (1960).
- [2] А. Ф. Дравских, Н. Г. Петерова, Н. А. Топчило, Астрон. журн. 96, 246 (2019)
- [3] В.К. Херсонский, Д.А.Варшалович. Астрон. журн, 57, с. 621-623. 1980
- [4] Богод В.М., Лебедев М.К., Овчинникова Н.Е., и др. Космические исследования. 2022, в печати

## Изотопные следы активности раннего Солнца

*Васильев Г.И.<sup>1</sup>, Мелихова Е.С.<sup>2</sup>, Павлов А.К.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФТИ им А.Ф.Иоффе РАН, С.Петербург;  
e-mail: *gennadyivas@gmail.com, anatoli.pavlov@mail.ioffe.ru*

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра  
Великого; e-mail: *melihova.es@edu.spbstu.ru*

У молодых быстро вращающихся звезд с высокой светимостью класса G с высокой светимостью в рентгеновском диапазоне наблюдаются сверхмощные вспышки с энергиями более  $5 \cdot 10^{34}$  эрг. В работе [1] рассматриваются процессы в ранней атмосфере Земли. При этом предполагается, что в первые 700 млн. лет существования Солнца в сутки происходили 250 вспышек с энерговыделением сопоставимым с Каррингтоновской с показателем энергетического степенного спектра протонов 2–2.3. Такие вспышки должны сопровождаться мощными корональными выбросами массы. При этом происходит сжатие магнитосферы Земли и становится возможным проникновение большего потока солнечных космических лучей (СКЛ) в атмосферу. Ядерные взаимодействия мощнейших потоков СКЛ с атмосферой в этот период должны привести к изменению ее изотопного состава. Мы также провели расчеты этих взаимодействий и для Марса и Венеры. Получены изотопные отношения  $^{13}C/^{12}C$  и  $^{15}N/^{14}N$ . Современное отношение изотопов азота в атмосфере Марса превосходит отношение в Земной атмосфере и в марсианском метеорите, обрарованном в период раннего Марса. Это может быть при азотной первичной атмосфере. Изотопное углеродное отношение для Марса может быть объяснено при существовании резервуара с содержанием углерода на порядок большим массы современной атмосферы. На Венере изотопные отношения изменяются в пределах погрешности измерений.

[1] Airapetian V.S. J. et al. // Nature Geoscience, 2016, v. 9, p. 452.

**Долговременные изменения основных траекторий  
внетропических циклонов в Северной Атлантике  
и их возможная связь с солнечной активностью**

***Веретененко С.В., Дмитриев П.Б., Дергачев В.А.***

*Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе,  
Санкт-Петербург; e-mail: s.veretenenko@mail.ioffe.ru*

Исследованы долговременные изменения основных траекторий внетропических циклонов (шторм-треков) в Северной Атлантике, рассчитанных по данным архивов MSLP (Mean Sea Level Pressure) Climatic Research Unit (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/pressure>) за 1873-2000 гг. и NCEP/DOE AMIP-II Reanalysis (<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis2.surface.html>) за 1979-2021 гг. Обнаружено, что в холодное полугодие (период наиболее интенсивного циклогенеза) средняя широта траекторий циклонов в исследуемой области испытывает колебания с периодами  $\sim 80-100$ ,  $\sim 40-47$  и  $\sim 22$  лет, что указывает на их возможную связь с вариациями солнечной активности. В максимуме векового цикла Глайсберга траектории циклонов смещены к югу, тогда как в минимуме и на нисходящей ветви цикла – к северу, при этом изменения широты составляют в среднем 5 градусов. Поскольку траектории внетропических циклонов определяются положением полярного струйного течения, зависящим от интенсивности стратосферного полярного вихря, обнаруженные смещения траекторий циклонов свидетельствуют о долговременных изменениях состояния вихря, т.е. усилении вихря в минимуме векового цикла и ослаблении в максимуме. Возможной причиной изменений интенсивности полярного вихря являются изменения химического состава и температурного режима полярной стратосферы, обусловленные вариациями скорости ионизации за счет галактических космических лучей.

## Два типа потоков магнитного поля в фотосфере Солнца

*Вернова Е.С.<sup>1</sup>, Тясто М.И.<sup>1</sup>, Баранов Д.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *СПбФ ИЗМИРАН, С.-Петербург; e-mail: d.baranov@bk.ru*

<sup>2</sup> *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург;  
e-mail: d.baranov@mail.ioffe.ru*

Циклические вариации фотосферного магнитного поля рассматриваются с использованием синоптических карт NSO Kitt Peak (1976–2016). На диаграмме широта-время наблюдается чередование полос с доминированием магнитного поля положительного или отрицательного знака. Показано, что эти особенности пространственного распределения магнитных полей определяются самыми слабыми полями ( $|B| < 5$  Гс). При учете более сильных полей указанные особенности распределения видны отчетливее, но их структура не меняется. Полосы, шириной около одного года, представляют собой потоки магнитного поля, которые начинаются почти у экватора и дрейфуют к полярным районам. Эти явления отличаются от потоков Rush-to-the-Poles (RTTP), которые имеют всегда строго определенный знак, такой же как знак хвостовых пятен. Приход RTTP к полюсам совпадает по времени с переполосовкой полярного поля. Напротив, группы полос чередующейся полярности располагаются между двумя RTTP, занимая интервал времени  $\sim 9$  лет: фазу спада, минимум и фазу роста солнечной активности. На диаграмме широта-время можно видеть такие регулярные изменения полярности магнитного поля во времени. Вариации магнитного поля рассмотрены для 6 интервалов времени на широтах  $+33^\circ$  в северном и  $-33^\circ$  в южном полушариях. Каждый из отобранных интервалов располагался между двумя RTTP. Зависимость величины напряженности поля от времени аппроксимировалась синусоидальной функцией. Получены оценки амплитуды и периода вариаций для 6 интервалов времени (в сумме  $\sim 50$  лет). Период вариаций менялся от 0.65 до 1.85 г., составляя в среднем для N полушария 1.1 г., а для S полушария — 1.3 г. Амплитуда вариаций для 6 рассмотренных интервалов следовала определенной зависимости: амплитуда была выше в том полушарии, в котором полярное поле имело положительный знак. Эти результаты показывают, что подобные циклические вариации являются устойчивой особенностью магнитного поля фотосферы.

**Редукция погрешностей солнечных и климатических индексов на основе гипотезы о непрерывной динамической связи Солнце-Климат**

*Волобуев Д.М.<sup>1</sup>, Скажун А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ГАО РАН, С.-Петербург; e-mail: dmitry.volobuev@mail.ru

<sup>2</sup> Независимая исследовательница, С.-Петербург;  
e-mail: a\_skakun@mail.ru

Оценки доверительных интервалов для средних значений солнечных и климатических индексов важны для модельных и прогностических задач. Формальный подход основан на трактовке измеряемых данных как независимых — как правило, гауссовых, случайных величин. Он может приводить к переоценке ширины доверительных интервалов, в основном, из-за связанности соседних значений в регулярных изменениях, например, в сезонном цикле для климата, или в квазидвухлетнем цикле для Солнца, существенной асимметрии статистических распределений, и других факторов.

В этой работе мы предлагаем новый подход к оценке доверительного интервала эмпирических временных рядов, основываясь на гипотезе о существовании непрерывной динамической связи Солнце-Климат. В рамках этого подхода мы добавляем гауссов шум в эмпирические индексы полного потока излучения Солнца (TSI) и Эль-Ниньо (Nino3.4), варьируя амплитуду шума. Увеличение амплитуды шума увеличивает условную дисперсию вплоть до полной потери связи. Однако, существует пороговое значение шума, при котором множество зашумленных кривых зависимости условной дисперсии от масштаба еще включает незашумленную кривую с ненулевой вероятностью. Согласно нашей гипотезе это пороговое значение шума и есть оценка истинного доверительного интервала.

На основе наших расчетов мы делаем вывод о существенной переоценке ширины доверительных интервалов, приведенных для индексов TSI и Nino3.4, и приводим скорректированные значения.

**Течения в конвективной зоне Солнца: масштабы  
и вариации мощности в цикле солнечной активности**

*Гетлинг А.В.<sup>1</sup>, Косовичев А.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени  
Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва;  
e-mail: A.Getling@mail.ru*

<sup>2</sup>*Технологический институт штата Нью-Джерси, Ньюарк, США;  
e-mail: alexander.g.kosovichev@njit.edu*

Спектральный анализ пространственной структуры солнечной подфотосферной конвекции выполнен по картам подповерхностных скоростей на глубинах до 19 Мм, определенных методами пространственно-временной гелиосейсмологии. Исходные данные получены инструментом Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) на борту орбитальной Обсерватории солнечной динамики (SDO) с мая 2010 г. по сентябрь 2020 г. Масштабы конвективных течений исследуются путем разложения поля дивергенции горизонтальной составляющей скорости по сферическим гармоникам. Диапазон масштабов, довольно широкий в неглубоких слоях, сужается по мере перехода к большим глубинам. Горизонтальные масштабы течений растут с глубиной от супергрануляционных значений до характерных размеров гигантских ячеек и указывают на присутствие крупномасштабных течений в подповерхностном сдвиговом слое. Результаты естественным образом интерпретируются как указание на суперпозицию разномасштабных течений, локализованных в разных интервалах глубин. Заметна тенденция к возникновению меридионально удлинённых (бананообразных) конвективных структур, явно прослеживаемая в глубоких слоях. Исследована вариация интегральной мощности конвективных течений в цикле солнечной активности. Найдено, что в подповерхностных слоях эта мощность обнаруживает антикорреляцию с числом солнечных пятен, а на больших глубинах – положительную корреляцию. Это указывает на перераспределение энергии конвективных течений по глубине, вызванное действием магнитных полей.

## Суперротация структур супергрануляционного поля в конвективной зоне Солнца на различных глубинах

*Гетлинг А.В.<sup>1</sup>, Косовичев А.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва;  
e-mail: A.Getling@mail.ru*

<sup>2</sup>*Технологический институт штата Нью-Джерси, Ньюарк, США;  
e-mail: alexander.g.kosovichev@njit.edu*

Эффект суперротации супергранул состоит в том, что супергрануляционная картина вращается с большей угловой скоростью, чем солнечное вещество. Он был обнаружен по доплеровским измерениям скорости вращения Солнца [1, 2] и рассмотрен теоретически ([3] и др.), но его зависимость от глубины, требующая информации о подповерхностных скоростях, до сих пор не исследовалась.

В докладе представлены результаты анализа полей скорости на разных глубинах в конвективной зоне, измеренных методами пространственно-временной гелиосейсмологии по данным инструмента Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) на борту орбитальной Обсерватории солнечной динамики (SDO). Скорость движения супергранул – структур поля дивергенции горизонтальных скоростей – определяется методом локального корреляционного трассирования в его одномерном варианте. Для поверхностных слоев эта скорость измеряется безо всякой дополнительной подготовки исходного поля, а для более глубоких слоев, где сильна шумовая составляющая измеряемого поля, применяется спектральная фильтрация: поле разлагается по сферическим гармоникам, из спектра удаляется шумовая коротковолновая часть и затем делается обратный переход из спектрального в физическое пространство. Результаты выявляют изменения скорости суперротации с глубиной и ее вариации в цикле солнечной активности.

- [1] Duvall T. L., Jr. // Solar Phhys., 1980, v. 66, p. 213.
- [2] Snodgrass H.B., Ulrich R.K. // Astrophys. J., 1990, v. 351, p. 309.
- [3] Busse F.H. // Phys. Rev. Lett., 2003, v. 91, paper 244501.

## Особенности структуры и динамики активной области № 12673, связанные со вспышками

*Головко А.А., Салахутдинова И.И.*

*ИСЗФ СО РАН, Иркутск; e-mail: golovko@iszf.irk.ru*

Выполнен анализ структуры и динамики магнитного поля активной области № 12673, показавшей высокую вспыхивающую активность, по данным HMI SDO и SOT Hinode, с привлечением методов мультифрактального анализа. Для этой области характерны высокие значения индукции магнитного поля, превышающие 5 кГс [1]. Во вспышке X8.2 10.09.2017 Флейшман с соавторами обнаружили трансформацию магнитной энергии в тепловую энергию ускоренных электронов за интервал времени около 2 мин [2].

Мультифрактальное сегментирование [3] выявило, что проявляющиеся во вспышках центры активности характеризовались увеличенной по сравнению с окружением перемежаемостью структуры магнитного поля и лучевой скорости. Суммарный беззнаковый магнитный поток (суммарный без учета знака продольной компоненты поля) активной области 6 сентября с 8 до 13 часов UTC снижался со средней скоростью  $0,8 \times 10^9$  Вб/с, за исключением двух коротких временных интервалов солнечных вспышек баллов X2.2 (08:57-09:17) и X9.3 (11:53-12:10). В указанные интервалы произошло ступенчатое уменьшение потока со скоростями  $2,4 \times 10^{10}$  Вб/с при вспышке X2.2 и  $4 \times 10^{10}$  Вб/с при вспышке X9.3, намного превышающими все эволюционные изменения. Эта скорость претендует на роль рекордной для 24-го солнечного цикла, как и величина коронального магнитного поля в активной области [1]. В эти же интервалы произошли резкие изменения дисбаланса магнитного потока в сторону его уменьшения. Во время вспышек в окрестности основной линии раздела полярностей появлялись короткоживущие (2-4 минуты) магнитные транзиенты размером в несколько угловых секунд. После вспышки X9.3 резко изменилось расположение участков с увеличенной перемежаемостью магнитного поля, а в интервале времени 13:30-14:30 UTC отмечены пульсации величины максимального продольного магнитного поля с квазипериодом 4-5 мин.

- [1] Anfinogentov S.A., Stupishin A.G., Mysh'yakov I.I. et al. // *Astrophys. J.Lett.*, 2019, 880:L29.
- [2] Fleishman G.D., Gary D.E. et al. // *Science*, 2000, v. 367, p. 278/
- [3] Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. // *JASTP*, 2018, v. 179, p. 120.

**Программная среда для моделирования «жизни»  
заряженной частицы в околоземном пространстве**

***Голубков В.С., Майоров А.Г., Юлбарисов Р.Ф.***

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва; e-mail: vlad10433@mail.ru*

В работе представлен прототип программной среды для моделирования “жизни” космических лучей в околоземном пространстве, т.е. расчёта совокупности физических процессов, в которых может участвовать частица, оказавшаяся в магнитосфере и атмосфере Земли. Моделирование основано на расчете траекторий частиц в магнитном поле планеты, которое реализовано путём численного решения для них уравнения движения в электромагнитном поле планеты методом частица-в-ячейке по схеме Бунемана-Бориса. Созданная программная среда включает в себя различные модели магнитного поля Земли: IGRF-13, Tsyganenko89, 96, CHAOS-7.9. Моделирование взаимодействия частиц с атмосферой осуществляется с помощью пакета Geant4, а для получения информации о среде используются модели атмосферы и ионосферы: NRLMSISE00 и IRI. Начальные условия частиц для их трассировки разыгрываются Монте-Карло генератором потока космических лучей, работа которого основана на экспериментальных измерениях спектров космических лучей, выполненных в экспериментах PAMELA и AMS-02.

В настоящее время программная среда позволяет моделировать CRAND процесс, поведение квази-захваченных и precipitated частиц, восстанавливать спектры альбедных частиц, вычислять жесткость геомагнитного обрезания в разных точках Земли. Будут показаны некоторые результаты расчетов указанных процессов и явлений.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект 19-72-10161-П).

**Поток магнитного пересоединения во время  
двух вспышек 6 сентября 2017**

***Гопасюк О.С., Вольвач А.Е., Якубовская И.В.***

*ФГБУН КРАО РАН, Научный, Республика Крым;  
e-mail: olg@craocrimea.ru*

Исследование процесса энерговыделения двух вспышек, произошедших 6 сентября 2017 г в активной области NOAA 12673, проведено с использованием хромосферных данных в полосе  $1600 \text{ \AA}$  (SDO/AIA) и магнитограмм фотосферного поля (SDO/HMI). Временные профили микроволнового излучения (KRIM, RSTN) использовались в качестве наблюдаемых показателей скорости выделения энергии вспышки. Из исследований [1] следует, что поверхностный магнитный поток, охватываемый вспышечными лентами, связан с глобальной скоростью пересоединения. Поэтому, чтобы измерить магнитный поток пересоединения и скорость его изменения были вычислены такие наблюдаемые параметры, как только что уярченная область вспышки и магнитное поле этой области. Кумулятивные положительные и отрицательные магнитные потоки, участвующие в процессе пересоединения, оказались хорошо сбалансированными. Проведено сравнение изменения скорости магнитного пересоединения с наблюдаемым нетепловым вспышечным излучением. Мы получили хорошую временную взаимосвязь между вычисленной скоростью магнитного пересоединения и наблюдаемым нетепловым излучением, что еще раз подтверждает важность магнитного пересоединения для ускорения электронов в солнечных вспышках.

[1] Forbes T.G., Lin J. // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys., 2000, v. 62, p. 1499.

**Поиск периодических изменений блеска и вспышечной активности у красных карликов среди объектов глубокого обзора экваториальной области по данным eROSITA**

*Горбачев М.А., Шляпников А.А.*

*«Крымская астрофизическая обсерватория РАН», п. Научный;  
e-mail: mgorbachev17@gmail.com, aas@crasrimea.ru*

Ранее вторым автором был опубликован список звёзд нижней части Главной последовательности, имеющих возможное отождествление среди объектов глубокого обзора экваториальной области неба, выполненного телескопом eROSITA на орбитальной обсерватории SRG. Из 27910 рентгеновских объектов 110 являются кандидатами на идентификацию с красными карликами. 12 звёзд ранее были классифицированы как рентгеновские источники. В области идентификации двух звёзд попадают галактики. Несколько отождествлений содержат близко расположенные объекты. В данной работе мы представляем поиск периодических изменений блеска и вспышечной активности у 110 кандидатов на идентификацию с красными карликами. К списку объектов с обнаруженными или заподозренными периодами и вспышками, комментариям к нему и поисковым картам обеспечен интерактивный доступ. Для этого был создан HTML файл, с включением элементов Java Script, обеспечивающих доступ к оригинальной информации и её визуализации.

**Идентификация в оптическом диапазоне спектра  
объектов из нового каталога «Звёзд с активностью  
солнечного типа» среди источников рентгеновского  
и радио-излучения**

***Горбунов М.А., Шляпников А.А.***

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный;  
e-mail: mag@crao.crimea.ru, aas@crao.crimea.ru*

Для дополнения нового каталога звёзд-карликов нижней части Главной последовательности информацией об их возможном рентгеновском и радиоизлучении был разработан специальный интерактивный интерфейс. С его помощью из 314618 объектов каталога была произведена выборка 27454 рентгеновских и радиоисточников источников. Для наибольшей однозначности соответствия звёзд – источникам, области всех объектов просматривались визуально и сравнивались с базами данных SIMBAD и NED. В докладе представлены этапы проделанной работы и проиллюстрированы полученные результаты.

**Эффекты перестройки магнитной конфигурации  
активной области в тепловом/нетепловом излучении**

***Григорьева И.Ю.<sup>1</sup>, Струминский А.Б.<sup>2</sup>, Шаховская А.Н.<sup>3</sup>***

<sup>1</sup> *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,  
С.-Петербург; e-mail: irina.2014.irina@mail.ru*

<sup>2</sup> *Институт космических исследований РАН, Москва;  
e-mail: astrum@iki.rssi.ru*

<sup>3</sup> *Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Республика Крым,  
пгт. Научный; e-mail: anshakh@mail.ru*

Наблюдаемое увеличение магнитного потока в пределах активной области (АО) приводит к перестройке её первоначальной магнитной конфигурации и, следовательно, к выделению энергии, которое можно регистрировать в виде слабых всплесков мягкого рентгеновского (SXR-) излучения в АО, приводящих к росту общего SXR-фона. Это может быть связано также с повышением общего фонового излучения Солнца, которое, по-видимому, отражает процесс накопления в АО большого количества энергии, необходимой для одной или серии мощных солнечных вспышек. По нашему мнению динамика теплового (SXR-) и нетеплового (радио-, м-дм-см-диапазона) излучения может указывать на заблаговременную подготовку АО (накопление энергии магнитного поля в АО, см. обзор [1]), что согласуется с представлением об эрупциях суб-С-класса (SXR-вспышках В8 и В9 GOES-класса) как прекурсорах мощной вспышки X3.4 GOES-класса в событии 13 декабря 2006 года [2].

Мы исследуем динамику параметров вспышечного SXR-излучения (данные GOES) и всплесков в м-дм-см-диапазоне (данные RSTN) в период 05-13.12.2006 в АО, которая 13 декабря 2006 года дала мощную эруптивную вспышку X3.4 GOES-класса с регистрацией GLE70. Приводим сравнение с недельной ретроспективой теплового/нетеплового излучения перед эруптивными вспышками X7.1 20 января 2005 года и M5.1 17 мая 2012 года с регистрацией GLE69 и GLE71, соответственно.

- [1] Totiumi S., Wang H. // Living Reviews in Solar Phys., 2019, v. 16, p. 3.
- [2] Sterling A. C., Moore R. L., and Harra L. K. // Astrophys. J., 2011, v. 743, p. 63.

## Электронные скиновые масштабы в физике разлетов и течений горячей плазмы

*Губченко В.М.*

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия;  
e-mail: ua3thw@appl.sci-nnov.ru*

Космическая (Макро) и лазерная (микро) горячие бесстолкновительные плазмы демонстрируют многообразие самоподобных, т.е. общей природы, крупномасштабных электромагнитных пространственных структур (магнитное пересоединение, диамагнитное облако), связанных с динамикой разлетов и течений таких плазм от источников, где она характеризуется асимметрией и анизотропией функции распределения (ФР) электронов по скоростям. В основе масштабирования, т.е. определения расположения зон в структуре по отношению к расстояниям до апертуры источника и конкретных масштабов структур в зонах, это масштабы пространственной дисперсии плазмы и гибриды из них, являющиеся характеристиками возбуждаемых мод, формирующих «волновой» пакет всей структуры. Известные МГД электронные и ионные скиновые масштабы холодной изотропной плазмы от МГД волновых мод, традиционно включаемые в анализ (аналитический и численный), малы и не адекватны физически масштабированию ими кинетических структур. В нашем рассмотрении масштабы пространственной дисперсии электронные и они кинетической природы, напротив, они велики по отношению к известным МГД масштабам дисперсии и потому основа крупномасштабной кинетики. Они «аномальны» — связаны с асимметрией и анизотропией ФР электронов, и являются кинетической характеристикой структуры возбужденного пакета индукционных мод незамагниченной (это простейший случай) плазмы, сосредоточенного в ее «резонансной» линии, когда принципиальна инерция электронов, которая определяет самосогласованно эффекты резистивности и диамагнетизма при разлетах горячей плазмы.

Работа выполнена в рамках Государственных заданий № 0030-2021-0002 и № 0030-2021-0015, и частично поддержана грантом РФФИ №20-02-00108.

- [1] V. M. Gubchenko, *Geomagnetism and Aeronomy*, 2020, Vol. 60, No. 7, pp. 896-903.

## Возмущения в магнитосфере и ионосфере в отсутствие пятен на Солнце

*Гуляева Т.Л.*

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, Москва; e-mail: gulyaeva@izmiran.ru*

Представлены оценки геомагнитных и ионосферных возмущений в дни отсутствия пятен на Солнце с 1995 по 2021 гг. Оценки проводились в течение 548 возмущенных дней без пятен на Солнце по скорости солнечного ветра  $V_{sw}$ , геомагнитному  $K_p$  индексу и глобальным ионосферным индексам  $WU$  (положительные возмущения полного электронного содержания ТЕС),  $WL$  (отрицательные возмущения), их разности  $WE$  и планетарного индекса  $Wp$ , представленными на сайте ИЗМИРАН <"Ионосферная погода" (<https://www.izmiran.ru/ionosphere/weather/>). Исходный  $W$ -индекс принимает значения от -4 до +4 с шагом 1, характеризующим меру отклонения текущего значения ТЕС от спокойной медианы, а глобальные индексы  $WU$ ,  $WL$ ,  $WE$ ,  $Wp$  выведены на основе глобальных карт GIM-ТЕС. Получены характерные различия в изменениях указанных ионосферных индексов, в особенности в течение глубокого солнечного минимума с 2004 по 2017 гг.

**Явления гистерезиса во взаимосвязи жесткости  
обрезания космических лучей и параметров  
магнитосферы во время бури 15 мая 2005 года**

*Данилова О.А., Птицына Н.Г., Тясто М.И.*

*Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма,  
ионосферы и распространения радиоволн РАН (СПбФ ИЗМИРАН),  
Санкт Петербург; e-mail: md1555@mail.ru*

Эта работа является продолжением наших исследований по изучению признаков гистерезиса в изменении жесткостей геомагнитного обрезания космических лучей во время сильных магнитных бурь. Корреляции вариаций жесткостей обрезания с индексами геомагнитной активности, параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП) рассчитана для трех фаз бури 15 мая 2005 г. — перед началом бури, в ее главной и восстановительной фазах. На примере станции Москва найдено, что траектории изменения значений жесткостей обрезания в зависимости от исследуемых параметров во время главной фазы бури не совпадали с траекториями на восстановительной фазе, что обусловило формирование петель гистерезиса. Связь жесткостей обрезания с Dst и Kp характеризовалась узкой петлей гистерезиса, с параметрами ММП — широкой, причем наиболее широкой была петля для Vz компоненты. Для плотности и давления солнечного ветра петли гистерезиса были неупорядоченными.

## Модель частотной модуляции 11-летнего цикла солнечной активности

*Птицына Н.Г., Демина И.М.*

*Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма,  
ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова, РАН  
(СПбФИЗМИРАН), г. Санкт-Петербург, Россия*

При помощи вейвлет-анализа проведено подробное исследование вариаций длины солнечного цикла и их характерных особенностей в 1700–2020 гг. Найдено, что в разные эпохи доминирующий вклад вносят различные ветви цикла Глейсберга: до 1850 г. 60-летняя ветвь, а после — 115-летняя. 88-летняя ветвь в это время практически не прослеживается. Построена модель, в которой 11-летнее гармоническое колебание модулируется по частоте 60-летней и 115-летней ветвями цикла Глейсберга. Получено, что такая модель может описать общую эволюцию спектра, его амплитудно-частотные характеристики и основные особенности, в частности, минимум Дальтона. Отметим, что из собственных колебаний в модели присутствует только 11-летняя составляющая, а модулятор может иметь внесолнечное происхождение.

**Колебания климата в Антарктическом регионе  
на длительной временной шкале  
и текущие изменения климата**

*Дергачев В.А.*

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург;  
e-mail: v.dergachev@mail.ioffe.ru*

Антарктика представляет собой сильно связанную систему с нелинейным взаимодействием между атмосферой, океаном, льдом и биотой, а также со сложными связями с остальной системой Земли. Антарктида и Южный океан составляют важнейшую часть Земной системы.

Антарктида является самым холодным, самым сухим и самым отдаленным континентом, в котором происходят разнообразные экологические изменения в ответ на климатические изменения, в частности, на современное потепление, вокруг которых ведутся острые научные дебаты. Остаётся вопрос относительно того, является ли недавняя и ускоряющаяся тенденция к потеплению частью естественной изменчивости климата или результатом антропогенной деятельности. Однозначного ответа можно не получить, если не расшифровать, как изменялись климатические процессы в далёком прошлом. На интервале последних примерно 500 млн. лет можно выделить долговременные тенденции (повышения и понижения) в отложениях континентального льда в Антарктическом регионе и содержания углекислого газа. Около 60-50 млн. лет назад имеет место длительная тенденция снижения концентрации углекислого газа, средней температуры и понижение уровня океана, а на интервале последних миллионов и сотен тысяч лет история Земли характеризовалась чередованием циклов холодных (ледниковых) и теплых (межледниковых) климатических колебаний, которые привели к ряду крупномасштабных экологических и атмосферных изменений, в частности, образованию и таянию огромных ледяных щитов, драматическим изменениям глобального уровня моря и др.

В статье исследуются тенденции в изменении климата в различных регионах Антарктики в прошлом, изменение климата после окончания последнего ледникового периода и текущие изменения климата и связь этих изменений с причинами, их порождающими. Основное внимание обращается на изменения климатических характеристик в течение голоцена и особенности изменений в последние десятилетия. Полученные результаты важны для понимания прошлой и будущей изменчивости климата.

**Влияние вида функции радиационных потерь  
корональной плазмы на поведение медленных  
магнитозвуковых волн**

*Дертеев С.Б., Шивидов Н.К., Гаваев Б.С., Михалев Б.Б.*

*Калмыцкий государственный университет, Элиста;  
e-mail: derteevsergei@mail.ru*

Наблюдаемые в короне волны сжатия, которые интерпретируются как медленные магнитозвуковые волны, продолжают привлекать к себе широкое внимание. Недавно было отмечено, что нарушение баланса между нагревом и радиационными потерями, вызываемое волнами, может приводить к их дисперсии [1]. В линейном анализе до сих пор используется упрощенное локальное представление функции излучения плазмы в виде степени температуры [4], что, на наш взгляд, приводит к большим погрешностям в результатах. Поведение магнитозвуковых волн сильно зависит от параметров плазмы, поэтому необходимо более точное аналитическое выражение для функции излучения.

С этой точки зрения мы пытаемся переосмыслить полученные ранее результаты по медленным магнитозвуковым волнам. Мы используем новые данные о параметрах корональных петель [3] и функции излучения [2]. Локальные аналитические выражения строим с помощью кубических сплайнов, дисперсионные свойства волн изучаем на широких интервалах значений параметров плазмы и магнитного поля. Попутно хотим отметить, что дисперсия волны, вызванная ее поглощением, впервые была описана Гинзбургом [5].

- [1] Belov S.A., Molevich N.E., Zavershinskii D.L. // Solar Phys., 2021, v. 296, p. 122.
- [2] Del Zanna G., Dere K.P., Young P.R., Landi E. // Astrophys. J., 2021, v. 909, p. 38.
- [3] Reale F. // Living Rev. Solar Phys., 2014, v. 11, p. 4.
- [4] Kolotkov D.Y., Nakariakov V.M., Zavershinskii D.I. // Astron. Astrophys., 2019, v. 628, p. A133.
- [5] Гинзбург В.Л. // Акуст. журн., 1955, т. 1, вып. 1, с. 31.

**Солнечная постоянная и вариации  
температуры тропосферы и стратосферы Земли  
в течение 23 и 24 циклов солнечной активности**

*Дмитриев П.Б.*

*ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
С.-Петербург; e-mail: paul.d@mail.ioffe.ru*

Влияние солнечной активности на климат Земли проявляется в изменении солнечной постоянной, которая является основной энергетической солнечной характеристикой влияющей на Землю и измеряется в единицах мощности суммарного солнечного излучения на расстоянии одной астрономической единицы от Солнца.

Поэтому в данной работе были рассмотрены спектрально временные свойства среднесуточных значений солнечной постоянной, полученные прибором Total Irradiance Monitor (TIM) на космическом аппарате Solar Radiation and Climate Experiment (SORCE) и спектрально временные характеристики среднесуточных глобальных значений яркостной температуры десяти различных слоев тропосферы и стратосферы Земли высотой до 41 км, температуры слоя атмосферы, примыкающего к поверхности Земли ( $\sim 1$  км), и температуры поверхности моря, восстановленные из измерений радиометра Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU-A), установленного на спутнике «Aqua» с солнечно-синхронной орбитой во время спада 23 и подъема 24 циклов солнечной активности (с марта 2002 года по октябрь 2012 года).

Временная структура вышеперечисленных рядов данных была изучена при помощи метода построения комбинированной спектральной периододграммы, что привело к выводу о существовании «общих» групп квазипериодических компонентов с периодами от нескольких дней до полугода с доминирующими в соответствующих группах квазипериодическими осцилляциями в 8, 30, 48 и 58 дней. Из общего числа выявленных квазипериодов особо следует выделить квазипериодическую осцилляцию величиной 122 дня, которая доминирует на высотах от 17 до 41 км над всеми остальными и исчезает затем у поверхности Земли, начиная постепенно снижать свое влияния с высоты 14 км над земной поверхностью.

## Особенности закона Джоя по данным Уссурийской астрофизической обсерватории

*Ерофеев Д.В., Ерофеева А.В.*

*Институт прикладной астрономии РАН, Уссурийск;  
e-mail: dve\_08@mail.ru*

Нами использованы данные обработки фотогелиограмм Солнца в белом свете, полученные в Уссурийской астрофизической обсерватории (УАФО) в 1956-2021 гг. По этим данным рассчитаны следующие параметры 8730 биполярных групп солнечных пятен: гелиографические координаты центров групп, длины их осей и углы наклона осей ко кругам широты (тилт-углы). Исследовались зависимости тилт-углов, а также длин осей групп пятен, от гелиографической широты. Получены следующие результаты.

Хотя возрастание тилт-углов с ростом гелиошироты (закон Джоя) в первом приближении аппроксимируется линейной функцией, зависимость тилт-угла от широты имеет систематические отклонения от линейности в виде двух почти горизонтальных участков ("плато"). Один из них локализован в интервале гелиоширот  $12-18^\circ$ , где концентрация групп пятен максимальна. Дополнительная селекция групп пятен показывает, что эта особенность присутствует в обоих полушариях Солнца, а также выявляется независимо по данным о малых, средних и больших группах пятен. Второе <"плато"> расположено на гелиоширотах выше  $25^\circ$ , но его верхнюю границу указать трудно ввиду падения концентрации групп пятен с широтой. Эти результаты качественно согласуются с результатами, полученными по данным обсерваторий Маунт Вилсон, Кодайканал и Дебрецен [1], хотя в УАФО применяется иная методика определения параметров групп пятен.

Углы наклона осей групп солнечных пятен в южном полушарии систематически меньше, чем в северном; различие составляет около 1 градуса.

Средняя длина осей биполярных групп солнечных пятен не обнаруживает заметного изменения с гелиоширотой

[1] Baranyi T. // MNRAS, 2015, v. 447, p. 1857.

**Влияние метода обработки длительных рядов  
наблюдений на отображение циклических вариаций  
регулярных и нерегулярных активных областей**

*Жукова А.В.*

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт. Научный,  
Крым, Россия; e-mail: anastasiya.v.zhukova@gmail.com*

Каталог магнито-морфологических классов активных областей (ММК АО) КрАО (<https://sun.crao.ru/databases/catalog-mmс-ars>) был использован для исследования 2046 активных областей (АО) 23-го и 1507 АО 24-го солнечных циклов. Все АО, кроме одиночных пятен, были разделены на регулярные биполярные группы, подчиняющиеся эмпирическим законам, установленным для групп солнечных пятен (закону полярностей Хейла и закону Джоя, правилу о доминировании лидирующего пятна) [1,2] и нерегулярные АО (все остальные). Циклические вариации показали сильную северо-южную (N-S) асимметрию для АО обоих классов. Сравнение числа АО с данными USAF/NOAA Solar Region Summary показало, что вклад АО, наблюдаемых в разных полушариях, в формирование двух максимумов цикла различен (число АО достигает максимума иногда в фазе, а иногда – в противофазе с общим числом солнечных пятен). Последовательность максимумов (пиков) для разных классов АО также неодинакова. Кроме того, для обоих классов АО обнаружены признаки многопиковой структуры солнечного цикла (наличие не только двух основных, но и дополнительных максимумов). Сравниваются результаты, полученные при помощи разных способов обработки длительных рядов наблюдений [3,4].

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект 18-12-00131).

- [1] Hale et al. // *Astrophys. J.*, 1919, v. 49, p. 63.
- [2] Van Driel-Gesztelyi L., Green L.M. // *Liv. Rev. Solar Phys.*, 2015, v. 12, p. 1.
- [3] Дженкинс Г., Ватс Д. // *Спектральный анализ и его приложения*, Изд. “Мир”, Москва, 1971, 317 с.
- [4] Craven P., Wahba G. // *Numer. Math.*, 1979, v. 31, p. 371.

**Способы определения статистической значимости  
наблюдаемой северо-южной асимметрии  
активных областей**

*Жукова А.В.*

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт. Научный,  
Крым, Россия; e-mail: anastasiya.v.zhukova@gmail.com*

Проведены статистические исследования 2046 активных областей (АО) 23-го и 1507 АО 24-го солнечных циклов при помощи каталога магнито-морфологических классов активных областей (ММК АО) КрАО (<https://sun.crao.ru/databases/catalog-mmс-ars>). Все АО, кроме одиночных пятен, были разделены на регулярные биполярные группы (выполняющие закон полярностей Хейла, закон Джоя, правило о доминировании лидирующего пятна) [1, 2] и нерегулярные АО (все остальные). Циклические вариации показали сильную северо-южную (N-S) асимметрию для АО обоих классов. Сравнение числа АО с данными USAF/NOAA Solar Region Summary показало, что АО каждого из классов образуют пики в двух максимумах цикла в разных полушариях не одновременно (достигают максимумов иногда в фазе, а иногда – в противофазе с общим числом солнечных пятен). Использование нормальной аппроксимации биномиального распределения, критерия согласия Пирсона  $\chi^2$  и других статистических методов позволило определить уровень достоверности полученных результатов по N-S асимметрии для каждого из двух максимумов каждого из циклов для каждого класса АО. В четырех из восьми исследованных случаев мы обнаружили высокий уровень статистической значимости наличия N-S асимметрии, в одном — граничный уровень, что позволяет подтвердить статистическую значимость наблюдаемого явления в целом.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект 18-12-00131).

- [1] Hale et al. // *Astrophys. J.*, 1919, v. 49, p. 63.
- [2] Van Driel-Gesztelyi L., Green L.M. // *Liv. Rev. Solar Phys.*, 2015, v. 12, p. 1.
- [3] Larson H. J. // *Introduction to Probability Theory and Statistical Inference*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1982.
- [4] Carbonell, M. et al. // *Astron. Astrophys.*, 2007, v. 476, p. 951.

**Исследование влияния мощных взрывных процессов  
в Активных Облациях на характер колебаний  
параметров магнитного поля в тени солнечных пятен**

*Загайнова Ю.С.<sup>1</sup>, Файнштейн В.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения  
радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Москва,  
e-mail: yuliazagaynova@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск,  
e-mail: vfain@mail.ru*

На примере трех событий исследовалось влияние мощных вспышек и быстрых корональных выбросов массы (взрывных процессов (ВП)) на характер колебаний в тени солнечных пятен нескольких характеристик магнитного поля: минимальный угол наклона силовых линий магнитного поля  $\alpha_{min}$ , средний в пределах тени пятна угол  $\langle \alpha \rangle$ , максимальное и среднее значение магнитной индукции  $V_{max}$  и  $\langle B \rangle$ . Были построены спектры мощности колебаний каждого параметра магнитного поля в каждом пятне исследуемой АО, и, в целом, для всей АО. Обнаружено, что, по крайней мере, на начальном этапе ВП оказывает заметное влияние на спектр мощности колебаний параметров магнитного поля в тени пятен. Выяснилось, что существуют различия в особенностях колебаний параметров поля в зависимости от мощности взрывного процесса, характеризуемой рентгеновским баллом вспышки. Полученные результаты сравниваются с результатами для АО без ВП. Анализ влияния ВП на характер колебаний параметров магнитного поля в тени пятен проводился как для АО в целом, так и для отдельных пятен с наиболее сильным откликом на ВП. Для разных событий сравнивались такие характеристики спектра мощности колебаний, как величина максимума интенсивности  $A_f$ , частота  $f_m$ , на которую приходится максимум  $A_f$ , и ширина спектра мощности по частоте  $df$ . Сопоставлены также спектры мощности АО и некоторых отдельных пятен до начала ВП (т.е. до начала солнечной вспышки) и после начала ВП. Работа частично выполнена по гранту РФФИ № 20-02-00150.

**Об эффективности радиоизлучения  
на удвоенной плазменной частоте  
в магнитосфере экзопланеты HD189772b**

*Зайцев В.В.<sup>1</sup>, Шапошников В.Е.<sup>1</sup>, Ходаченко М.Л.<sup>2</sup>,  
Румынских М.С.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия;  
e-mail: za130@ipfran.ru*

<sup>2</sup>*Институт космической физики Австрийской академии наук,  
Грац, Австрия*

<sup>3</sup>*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*

На экзопланетах со слабым магнитным полем вместо электронного циклотронного мазера может эффективно реализоваться так называемый плазменный мазер, предполагающий генерацию плазменных волн энергичными электронами и их трансформацию в радиоизлучение на плазменной частоте или на удвоенной плазменной частоте. На плазменной частоте при определенных условиях возникает мазер-эффект, проявляющийся в экспоненциальном росте интенсивности радиоизлучения с ростом энергии плазменных волн. В настоящей работе изучено комбинационное рассеяние возбужденных плазменных волн с образованием электромагнитной волны на удвоенной плазменной частоте в плазмосфере экзопланеты HD189772b, для которой в настоящее время изучена трехмерная структура плазменной оболочки. Хотя в случае комбинационного рассеяния отсутствует мазер-эффект, тем не менее, на второй гармонике существенно уменьшается столкновительное поглощение излучения и уменьшается требование на величину яркостной температуры в источнике. Показано, что для указанной экзопланеты поток радиоизлучения на второй гармонике резко возрастает от нескольких миллианских на частоте 20 МГц до нескольких десятков янских на частоте  $\approx 4$  МГц. Это означает, что наиболее перспективный диапазон для возможности обнаружения радиоизлучения второй гармоники современными радиотелескопами — декаметровый диапазон вблизи частоты отсечки земной ионосферы. При этом радиоизлучение второй гармоники может дать информацию о свойствах плазмосферы экзопланеты на достаточно больших расстояниях, недоступных при наблюдениях на частотах основного тона плазменной частоты.

**Предвспышечные пульсации с источниками  
вне активной области основной вспышки**

*Зимовец И.В.<sup>1</sup>, Шарыкин И.Н.<sup>1</sup>, Кальтман Т.И.<sup>2</sup>,  
Накаряков В.М.<sup>2</sup>, Колотков Д.Ю.<sup>3</sup>, Ступишин А.Г.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> ИКИ РАН, Москва; e-mail: ivanzim@iki.rssi.ru

<sup>2</sup> САО РАН, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> ИСЗФ СО РАН, Иркутск

<sup>4</sup> СПбГУ, Санкт-Петербург

В [1] показано, что перед  $> 25\%$  «изолированных» вспышек в интегральном потоке рентгеновского излучения Солнца присутствуют пульсации с периодами  $\sim 1 - 50$  мин. В [2] показано, что такие события разделяются на два типа: в событиях I типа источники пульсаций и основной вспышки находятся в одной активной области (АО), а в событиях типа II – в разных. Здесь мы представляем анализ события типа II, в котором источники пульсаций ( $P = 1.9 \pm 0.6$  мин) располагались в АО 11885 в западном полушарье, а источники основной вспышки M1.0 (SOL2013-11-05T18:08) в АО 11890 в восточном. Расстояние между АО 11885 и 11890  $\approx 1.4R_{\odot}$ , и в короне не наблюдались петли, соединяющие эти АО. Также нет соединения АО силовыми линиями экстраполированного магнитного поля. Это яркий пример события, в котором, вероятно, не было физической связи между пульсациями и основной вспышкой. В [2] показано, что вероятность серии квазипериодических пульсаций как случайных независимых вспышечных событий мала, и в основе пульсаций должен быть какой-то механизм. По данным SDO/AIA установлено, что в этом событии пульсации сопровождалась корональными струями (джетами), истекающими из компактной ( $\sim 10$  Мм) каспообразной области со скоростью не ниже  $100 - 250$  км/с. Мы приводим результаты анализа рентгеновских спектров источников этих рекуррентных струй, геометрии и динамики магнитного поля в АО, характеристик струй и их источников, и обсуждаем возможные механизмы их генерации.

- [1] Tan B., Yu Z., Huang J., Tan C., Zhang Y. // *Astrophys. J.*, 2016, 833:206 (6pp).
- [2] Зимовец И.В., Нечаева А.Б., Шарыкин И.Н., Низамов Б.А. // *Геомагнетизм и Аэронавигация*, 2022, т. 62, №4, с. 436-455.

**Ревизия солнечных данных архивов  
Георга Кристофа Эймарта**

*Золотова Н.В.<sup>1</sup>, Возмянин М.В.<sup>1</sup>, Арльт Р.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский Государственный Университет;  
e-mail: n.zolotova@spbu.ru*

<sup>2</sup>*Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam; e-mail: rarlt@aip.de*

Архивные материалы обсерватории Георга Кристофа Эймарта (Нюрнберг, Германия), ныне хранящиеся в фондах Российской Национальной Библиотеки, являются вторым по объему банком данным астрономических наблюдений периода минимума Маундера после архивов Парижской обсерватории. В недавних работах Hayakawa, Kuroyanagi, Carrasco et al. (2021) и Hayakawa, Iju, Kuroyanagi et al. (2021) был проведен анализ журнальных записей наблюдений и зарисовок солнечного диска, рассчитано число групп пятен, их широты и долготы. В данной работе мы провели ревизию архивов Эймарта, восстановив число групп, число пятен, их площади и гелиокоординаты, а также дополнив банк данных наблюдениями, которые не попали в работы Хаякава с соавторами. Также провели сравнение полученных результатов с наблюдениями Кирха и Шперера. Даны оценки неопределенностей положения пятен, когда наблюдатель делал несколько повторных зарисовок, погрешность достигает 10 градусов широты. Погрешность зарисовки площадей пятен составляет порядка 30%, однако зачастую наблюдатели зарисовывали только самое крупное пятно группы. Показано, что значительная часть наблюдений, более двух тысяч записей, являются астрометрическим наблюдениям и не должны быть интерпретированы как безпятенные дни.

## Связи между смежными циклами солнечной активности и их взаимная обусловленность

*Иванов В.Г.<sup>1</sup>, Наговицын Ю.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,  
Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург

Существуют статистические связи между смежными циклами 11-летней активности, позволяющие прогнозировать мощность предстоящего цикла по характеристикам текущего. К таким характеристикам относится длина данного цикла (от минимума до минимума), которая антикоррелирует с амплитудой следующего (с коэффициентом корреляции  $R \approx -0.7$ ), и активность в определённые моменты фазы спада данного цикла — примерно за 3 года до его минимума или за 7 лет до следующего за ним максимума — которые коррелируют с амплитудой этого максимума ( $R \approx +0.85$ ).

В данной работе мы анализируем взаимные зависимости между этими связями, а также влияние на них эффекта Вальдмайера и особенностей поведения активности на фазе спада цикла.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (грант № 075-15-2020-780).

**Оцифрованный каталог солнечных пятен,  
протуберанцев и факелов в 13–15 циклах по данным  
Цюрихской обсерватории**

***Илларионов Е.А.<sup>1,2</sup>, Арльт Р.<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва;  
e-mail: egor.illarionov@math.msu.ru*

<sup>2</sup>*ИМСС, Пермь*

<sup>3</sup>*Астрофизический институт, Потсдам*

Каталоги Цюрихской обсерватории, составленные под руководством А. Вольфера, содержат координаты солнечных пятен, протуберанцев и факелов в конце 19-го и начале 20-го веков. Эта база данных представлена в рукописной табличной форме и ранее не подвергалась систематическому анализу. Она отличается от ряда чисел солнечных пятен, составленного Р. Вольфом, и была получена с помощью более крупного телескопа. Мы обучили нейросетевую модель для распознавания рукописного текста и представили базу данных восстановленных координат в открытом доступе на сайте [https://github.com/observethesun/zurich\\_catalogs](https://github.com/observethesun/zurich_catalogs). Полученная база данных связывает ранние наблюдения Г. Шпёрера с более поздними программами 20-го века и дополняет каталоги групп солнечных пятен Гринвичской обсерватории. В докладе будет показана структура база данные, восстановленные широтно-временные диаграммы за 13–15 циклы и результаты сопоставления с каталогом групп солнечных пятен Гринвичской обсерватории.

## Солнечные циклы средней величины в разные эпохи солнечной активности

*Ишков В.Н.*

*ИЗМИРАН, Москва; e-mail: vitish@wdbc.ru*

Основным результатом исследования достоверного ряда (1849–2015) относительных чисел солнечных пятен является выявленный сценарий устойчивого развития солнечной цикличности, в последние ~190 лет. Данный сценарий предусматривает регулярную смену уровня солнечной пятнообразовательной деятельности при переходе от эпох «повышенной» солнечной активности (СА) к эпохам «пониженной» и, наоборот, — от «пониженной» к «повышенной» с чётко выделяемыми переходными солнечными циклами (СЦ). Этот сценарий требует от моделей пятнообразовательной активности двух различных режимов генерации солнечного магнитного поля, длительностью ~5 СЦ. Первый режим «пониженной» генерации приводит к образованию последовательности низких и средних СЦ, тогда как второй режим «повышенной» генерации способствует появлению последовательности высоких и средних СЦ. Развитие текущего 24 солнечного цикла подтверждает такой сценарий СА. Он знаменует собой наступление 2-ой достоверной эпохи «пониженной» СА со всеми вытекающими отсюда последствиями: последующие 5 циклов СА должны быть солнечными циклами низкой и средней величины. Текущий 25 СЦ начался в январе 2020 г. и по ходу развития попадает в семейство СЦ средней величины, что и следовало из правила Гневьшева-Оля. Поэтому становится актуальным исследовать характеристики средних СЦ различных эпох СА, пониженной (СЦ13, 15, 25), повышенной (10, 20) и переходного периода (17, 23). Развитие этих СЦ в фазах минимумов было рассмотрено в [1]

[1] Ишков В. // Космические иссл., 2020, в. 58, р. 1.

**Расчет спектра затменного протуберанца 29.03.2006  
в неоднородной модели, включающей переходный слой  
протуберанец-корона**

*Калинин А.А., Калинина Н.Д.*

*Уральский федеральный университет, Екатеринбург;  
e-mail: alexander.kalinin@urfu.ru, natalia.kalinina@urfu.ru*

Моделируется спектр затменного протуберанца 29.03.2006 (см. [1]). В [2] на основе однородной модели с использованием методов, кратко описанных в [3], были рассчитаны спектры протуберанца в линиях бленды линий гелия He 388.8 нм и водорода  $H_8$  388.9, линии водорода  $H_\epsilon$  и линий ионизованного кальция H и K. Сравнение рассчитанных интегральных интенсивностей всех этих линий с наблюдениями позволило получить более горячую модель протуберанца по сравнению с [1]. В данном сообщении мы провели расчеты с учетом наличия переходного слоя протуберанец-корона (далее ПСПК). Параметры ПСПК взяты согласно [4]. Включение ПСПК значительно увеличивает количество варьируемых параметров при моделировании спектра, что скорее затрудняет оценку физических свойств протуберанца вследствие малого количества наблюдательных величин. В нашем случае использование неоднородной модели, по-видимому, является превышением точности модели по сравнению с наблюдательными данными. Поэтому результаты работ [1], [2] можно считать достаточно хорошо характеризующими средние свойства наблюдавшегося протуберанца.

Особенностью нашего моделирования является расчет функций отклика для исследуемых линий водорода, кальция и гелия, что дает возможность оценить их глубины образования. Такие функции отклика для протуберанцев получены, насколько нам известно, впервые, и могут быть использованы в дальнейшем при анализе спектров солнечных корональных образований.

Работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № FEUZ-2020-0030.

- [1] Калинин А.А., Горда С.Ю., Крушинский В.В., Попов А.А. Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2012», 24–28 сентября 2012 г., ГАО РАН, СПб, с. 235.
- [2] Калинин А.А., Калинина Н.Д. Тезисы Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2021», 4–8 октября 2021 г., ГАО РАН, СПб, с. 39.

- [3] Калинин А.А. Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2018», 8–12 октября 2018 г., ГАО РАН, СПб, с. 195.
- [4] Levens P.J., Labrosse N. *Astron. Astrophys.*, 2019, 625, A30.

## Оценка параметров sloshing-колебаний во вспышечных корональных петлях по данным наблюдений SDO/AIA

*Каракотов Р.Р., Кузнецов А.А., Анфиногентов С.А.*

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск;  
e-mail: karakrus97@mail.ru*

Плазма солнечной короны – среда, в которой могут существовать различные типы магнитогидродинамических (МГД) волн. Такие волны создают возмущение макропараметров плазмы, например, температуры, плотности, величины магнитного поля.

Одно из проявлений медленных волн в корональных петлях называют плещущимися («sloshing») колебаниями. Они представляют собой возмущения, перемещающиеся вдоль петли. При наблюдении SDO/AIA эти колебания проявляются как области повышенной яркости в ультрафиолетовом диапазоне, перемещающиеся вперед и назад по петле, отражаясь от её оснований.

Мы провели поиск колебаний данного типа в наблюдениях SDO в каналах 131 Å, 171 Å, 335 Å. Проанализировано 313 вспышек классов C и M, зафиксированных в период с 01.01.2013 по 31.12.2014 (максимум 24-го солнечного цикла). В результате были идентифицированы 17 эпизодов колебаний типа sloshing, наблюдавшихся в канале 131 Å. Для каждого события были построены пространственно-временные диаграммы, определены периоды колебаний, длины петель в приближении полукруглой петли, скорости движения возмущения и температура плазмы в предположении, что возмущение распространялось со звуковой скоростью. В двух случаях (2014-02-02T09:31:00 и 2014-06-12T18:13:00) захваченные колебания имели три и более периода на пространственно-временной диаграмме.

Полученные значения скоростей в подавляющем большинстве соответствуют по порядку величины скоростям медленных магнитозвуковых волн ( $\sim 500$  км/с), однако часть колебаний распространяется со скоростями, характерными для быстрых магнитозвуковых волн ( $\sim 800 - 900$  км/с).

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, проект № 21-12-00195.

## Solar and stellar activity cycles — no synchronization with exoplanets

*Кацова М.М.<sup>1</sup>, Обриджо В.Н.<sup>2</sup>, Соколов Д.Д.<sup>3,2</sup>*

<sup>1</sup> ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва;  
*e-mail: mkatsova@mail.ru*

<sup>2</sup> ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Москва;  
*e-mail: obridko@mail.ru*

<sup>3</sup> Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва;  
*e-mail: sokoloff.dd@gmail.com*

Cyclic activity on the Sun and stars is primarily explained by generation of the magnetic field by a dynamo mechanism, which converts the energy of the poloidal field into the energy of the toroidal component due to differential rotation. There is, however, an alternative point of view, which explains the field generation by gravitational influence of the planetary system and, first of all, Jupiter. This hypothesis can be verified by comparing the characteristics of exoplanets with the activity variations on their associated stars. We have performed such a comparison and have drawn a negative conclusion. No relationship between the gravitational influence of the exoplanets and cycle of the host star could be found in any of the cases considered. Moreover, there are reasons to believe that a strong gravitational influence may completely eliminate cyclic variation in stellar activity.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant No 075-15-2020-780).

**Особенности связи между микроволновым и метровым радио излучением во время события 3 июня 2021 года**

***Кашапова Л.К.<sup>1</sup>, Шамсутдинова Ю.Н.<sup>1</sup>, Zhang J.<sup>2</sup>,  
Жданов Д.А.<sup>1</sup>, Reid H.A.S.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск;  
e-mail: lkk@iszf.irk.ru*

<sup>2</sup>*University College London, UK*

Вопрос о связи между микроволновыми всплесками и метровыми радио всплесками, связанными с генерацией излучения потоками ускоренных электронов (III тип, типы U и J), остаётся до сих пор открытым. С одной стороны, электроны, участвующие в генерации обоих видов излучения, должны происходить из одной популяции. С другой стороны, излучение в микроволнах это результат работы магнитотормозного механизма, в то время как метровое радиоизлучение возникает в результате работы плазменного механизма. Мы представляем результаты анализа такого события – солнечной вспышки класса B1 по GOES, произошедшей 3 июня 2021 около 1:36 UT. Микроволновый спектр, полученный на Широкополосном спектрополяриметре 4-8 ГГц и корреляционные кривые Сибирского радиогелиографа в диапазоне 3-6 ГГц показали наличие одного простого всплеска. В это же самое время на динамическом спектре в метровом радиодиапазоне, полученном на приборах сети e-Callisto, было видно несколько радиовсплесков III типа и типа J. Исследование потоков микроволнового излучения с помощью пространственно – разрешенной фотометрии позволило выявить отклик для тех радио всплесков, у которых она отсутствовала при наблюдениях без пространственного разрешения. Получены задержки между всплесками в микроволновом и метровом диапазонах. Обнаружено, что время задержки различалось для разных всплесков. Времена задержки, предсказываемые анализом динамических спектров в метровом диапазоне согласуются с полученными результатами анализа временных профилей. Обсуждаются сценарии и возможности применения полученных результатов для исследования распространения энергии во время солнечных вспышек.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Лондонского Королевского Общества 21-52-10012 КО-а.

## Проблема затекания вещества в гелиосферный токовый слой при наличии замкнутых линий магнитного поля

*Кислов Р.А.<sup>1,2</sup>, Малова Х.В.<sup>1,3</sup>, Хабарова О.В.<sup>2</sup>,  
Попов В.Ю.<sup>1,4</sup>, Зелёный Л.М.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ИКИ РАН, Москва, Россия; e-mail: kr-rk@bk.ru

<sup>2</sup> ИЗМИРАН, Москва, Троицк, Россия

<sup>3</sup> НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

<sup>4</sup> ВШЭ, Москва, Россия

Гелиосферный токовый слой (ГТС) преимущественно рассматривается как тангенциальный разрыв при построении МГД моделей. Данное представление в ряде случаев согласуется с наблюдениями и позволяет делать полезные с вычислительной точки зрения упрощения. Однако имеются данные, указывающие на распространённость ситуаций, когда в ГТС имеется ненулевая нормальная компонента магнитного поля на нейтральной линии. Иными словами, происходит замыкание линий магнитного поля в токовом слое. В этом случае при МГД моделировании формируется ненулевая нормальная компонента скорости плазмы, которая меняет знак при переходе через токовый слой. При непрерывности остальных компонент скорости образуется излом линий течения плазмы на нейтральной поверхности. Происходит накопление вещества в токовом слое и возникают условия для распада произвольного разрыва. В итоге токовый слой может разрушиться. В то же время наблюдения показывают, что ГТС является одной из самых стабильных структур в солнечном ветре. Поэтому возможны два сценария – либо токового слоя с замкнутыми линиями магнитного поля не существует, и построение соответствующих моделей лишено смысла, либо есть механизм, поддерживающий устойчивость такого слоя. Одним из таких механизмов может быть растекание плазмы по токовому слою. Ранее была создана модель токового слоя, основанная на квазиadiaбатической динамике ионов, предполагающая формирование сильного тока в азимутальном направлении (Зелёный et al. 2016, Malova et al. 2017). Показано, что данный ток появляется из-за изменения направления движения ионов, которые размагничиваются при приближении к нейтральному слою. Далее они захватываются токовым слоем и движутся в его ближайшей окрестности по серпантинным орбитам перпендикулярно направлению втекания потока плазмы. В результате коллективного эффекта движения множества ионов, появляется дополнительная компонента скорости плазмы, направленная вдоль слоя, и приводящая к растеканию плазмы. Проведены вычисления тока в азимутальном направлении в условиях типичных для ГТС на 1 а.е. Показано, что эффект заворота потока плазмы вдоль слоя может решить проблему с избыточным накоп-

лением вещества и развитием взрывной неустойчивости токового слоя с замкнутыми линиями магнитного поля. Теоретические оценки соответствуют наблюдениям.

Работа поддержана грантом РФФ 20-42-04418.

- [1] Зелёный Л. М., Малова Х. В., Григоренко Е. Е., Попов В. Ю. Тонкие токовые слои: от работ Гинзбурга-Сыроватского до наших дней // УФН – 2016. – Т. 186. № 11. с. 1153-1188. doi: 10.3367/UFNr.2016.09.037923
- [2] Malova H. V., Popov V. Yu., Grigorenko E. E., Petrukovich A. A., Delcourt D., Sharma A. S., Khabarova O. V., Zelenyi L. M. Evidence for quasi-adiabatic motion of charged particles in strong current sheets in the solar wind // The Astrophysical Journal. – 2017. – Vol. 834. Issue 1. doi: 10.3847/1538-4357/834/1/34

## Дифференциальное вращение и циклы активности звезд солнечного типа

*Кичатинов Л.Л.*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> *Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск;  
e-mail: kit@iszf.irk.ru*

<sup>2</sup> *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,  
С.-Петербург*

Наблюдения показывают увеличение дифференциального вращения и уменьшение периода звездных циклов со скоростью вращения. Эти наблюдаемые зависимости могут быть следствиями более сильных зависимостей от эффективной температуры (цвета) звезды. Обоснование этого утверждения состоит в следующем. Эмпирическая гирохронология показала, что темп замедления вращения звезд уменьшается с эффективной температурой. Поэтому среди близких по возрасту звезд, более горячие звезды вращаются быстрее. Зависимости от скорости вращения, определяемые по выборкам, включающим звезды различных спектральных классов, включают неявную зависимость от температуры.

Наблюдения звезд определили максимальный период вращения для действия крупномасштабного динамо. Этот период уменьшается, а скорость вращения увеличивается, с возрастанием эффективной температуры. Согласованная модель дифференциального вращения и динамо применена к звездам с массой от  $0.7M_{\odot}$  до  $1.2M_{\odot}$ , скорость вращения которых близка к минимальной величине для действия крупномасштабного динамо. Расчеты показывают увеличение неоднородности вращения и сокращение периодов звездных циклов с возрастанием эффективной температуры. Те же расчеты показывают “наблюдаемые” возрастание дифференциального вращения и сокращение периода циклов с увеличением скорости вращения, но только потому что более горячие звезды вращаются быстрее. Звезды относительно малой массы вырабатывают большую магнитную энергию в своих продолжительных динамо-циклах по сравнению с более массивными звездами.

## Theory and observations of turbulent magnetic helicity fluxes in solar convective zone

Клеорин Н.И.<sup>1,3</sup>, Рогачевский И.В.<sup>3,4</sup>, Кузанын К.М.<sup>1,2</sup>,  
Степанов Р.А.<sup>1</sup>, Сафиуллин Н.Т.<sup>1,5</sup>, Поршнев С.В.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> *Институт механики сплошных сред, УрО РАН, г. Пермь,*

<sup>2</sup> *ИЗМИРАН, г. Троицк, Москва; e-mail: kuzanyan@izmiran.ru*

<sup>3</sup> *Ben-Gurion University, Israel, Beer-Sheva Israel; e-mail: nat@bgu.ac.il*

<sup>4</sup> *Nordita, KTH and Stockholm University, Sweden;  
e-mail: gary@bgu.ac.il*

<sup>5</sup> *Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург*

We discuss theory and observations of turbulent magnetic helicity fluxes in solar convective zone. The theory is based on the mean-field approach and the spectral tau approximation using the Coulomb gauge in a density-stratified turbulence ([1]). The derived turbulent magnetic helicity flux includes nongradient (the effective pumping velocity multiplied by the small-scale, magnetic helicity) and gradient (the turbulent magnetic diffusion of magnetic helicity) contributions. The turbulent magnetic helicity flux contains the source term proportional to the kinetic alpha effect or its radial gradient. There is a contribution caused by the solar differential rotation. We have demonstrated that the turbulent magnetic helicity flux due to the kinetic alpha effect, its radial derivative and the turbulent magnetic diffusion of the small-scale magnetic helicity are dominant in the solar convective zone. We have performed comparisons of the early observation of magnetic helicity fluxes of the solar surface in active regions with theoretical predictions.

Работа поддержана грантом РФФ 21-72-20067.

- [1] Kleorin N. ; Rogachevskii I. <"Turbulent magnetic helicity fluxes in solar convective zone» // MNRAS, 2022,v. 515, p. 5437.

## Нижняя ионосфера и земные тектонические процессы

*Комитов Б.П.<sup>1</sup>, Кафтан В.И.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт астрономии и НАО – БАН, София, Болгария;  
e-mail: komitovboris97@gmail.com*

<sup>2</sup>*Геофизический центр – РАН, Москва; e-mail: v.kaftan@gcras.ru*

Предметом настоящей работы являются описание и предварительный анализ данных наблюдений внезапных ионосферных возмущений в нижней ионосфере (слои D и E), выполненные в период апрель/июнь 2012 – декабрь 2017 г. Используются три приемника в районе города Стара Загора (Болгария) — два на частоте  $f=24$  kHz и один в нижнем мегагерцовом диапазоне ( $f=10$  MHz). Представлены предварительные результаты статистического анализа между параметрами солнечных вспышечных процессов и регистрируемых радиосигналов. Обсуждаются также возможные эффекты связей между двумя землетрясениями (в районе города Перник (Болгария) 22 мая 2012 г и Чилийское землетрясение 2 апреля 2014 г) и наблюдаемыми характеристиками отраженного сигнала на частоте  $f=24$  kHz для соответных и соседних дней.

Данная работа является начальным этапом более долгосрочного проекта для исследования связи между явлениями в нижней ионосфере и тектоническими событиями в литосфере Земли.

## **Двойное магнитное волокно как элемент тонкой структуры вспышечной конфигурации**

*Соловьев А.А., Королькова О.А.*

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН  
(Санкт-Петербург, Россия)*

Исследованы свойства однородного по длине двойного горизонтального магнитного волокна, расположенного в солнечной атмосфере во внешнем однородном магнитном поле. Особенность токового экранирования в такой конфигурации: электрические токи не образуют, как в одиночном магнитном жгуте, коаксиальную структуру, а располагаются в двух близких параллельных полосах, так что полный ток равен нулю. Такие волокна не имеют тенденции сливаться при боковом контакте в единую магнитную структуру. Рассчитаны равновесные распределения плотности плазмы и электрических тока в волокне, показаны возможности достижения в волокне критических значений плотности электрического тока, при которых возникает «аномальное сопротивление», вызванное развитием токовой ионно-звуковой неустойчивости. Оно оказывается много больше обычного кулоновского сопротивления. Найдено, что напряженность электрического поля в области диссипации, значительно превышает дрейсеровское значение, и, благодаря этому, энергия ускоренных заряженных частиц может достигать сотни Мэв.

**Характеристики активных областей, маркирующих активные долготы, в минимумах солнечной активности между циклами 23/24 и 24/25**

*Костюченко И.Г.*

*НИФХИ им.Л.Я.Карпова, Москва; e-mail: irkost46@gmail.com*

Показано, что даже в слабых минимумах 11-летних циклов солнечной активности (СА), какими являются последние два минимума между солнечными циклами 23/24 и 24/25, наиболее крупные и долгоживущие активные области (АО) появляются преимущественно в относительно узкой полосе Кэррингтоновских долгот. На магнитографических синоптических картах обсерватории Вилкокса этой полосе долгот соответствуют наиболее высокие значения магнитного потока. Эти наблюдательные факты подтверждают существование феномена активных долгот (АД). Относительно небольшое количество групп солнечных пятен на солнечном диске в течение рассматриваемых минимумов позволяет достаточно надежно выделить те АО, которые могут быть отнесены к полосе АД, и исследовать их характеристики.

Постепенное смещение Кэррингтоновской долготы преимущественного появления наиболее крупных и долгоживущих АО со временем указывает на более быструю, чем Кэррингтоновская, скорость вращения их возможного единого источника. Получена оценка скорости вращения такого источника в каждом из рассмотренных минимумов. Эта скорость сравнивается со скоростью вращения индивидуальных долгоживущих групп пятен, образующих полосу активных долгот.

Получено распределение по размерам групп пятен, появляющихся в этой полосе долгот. Их широтное распределение получено отдельно для мелких и крупных групп пятен. Указанные характеристики сравниваются с аналогичными для групп пятен, наблюдаемых в тот же временной интервал вне полосы АД.

## Циклы Солнца, движение Земли и числа Фибоначчи

**Котов В.А.**

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный, Крым  
298409, Россия; vkotov@crasrimea.ru*

По числам пятен (1610–2022 гг.) уточнена длительность цикла Хейла:  $P_H = 22.14(8)$  г. Соответствующее изменение общего магнитного поля Солнца (1968–2022 гг.) имеет пилообразный профиль, что указывает на космологическую природу цикла. Последняя может быть связана с флуктуациями скалярно-тензорного поля гравитации (по Р. Дикке) или со стремлением — неясной природы — космических объектов, структур и процессов к повторяемости на определённых шкалах времени, включая  $P_H$ . Поле изменяется также с циклом  $P_7 = 7.08(10)$  г.; отношение двух циклов отвечает приближению Архимеда для числа  $P_{0i}$ :

$$\frac{P_H}{P_7} \approx \frac{22}{7} \approx P_{0i}, \quad (1)$$

а шкала

$$\left(1 - \frac{3}{P_{0i}}\right) P_H \approx (P_{0i} - 3)P_7 \quad (2)$$

в пределах ошибки измеряемых совпадает с орбитальным периодом Земли  $P_Y = 1.000$  г. При этом

$$P_Y \approx \frac{P_{\odot}^2}{2P_D} \approx 3^3 \frac{P_{\odot}}{2} \approx 3^6 \frac{P_D}{2} \approx 3^8 \frac{P_0}{2}, \quad (3)$$

где  $P_D$  — среднесолнечные сутки,  $P_{\odot} = 27.027(6)$  сут — синодический период вращения Солнца, а  $P_0 \approx 3^{-2}P_D \approx 0.111$  сут — период его пульсаций.

Показано, что вращение Солнца и движения Земли и Венеры вовлечены в тесные взаимные резонансы с участием чисел Фибоначчи и “золотого сечения”, что может быть следствием особой роли  $P_{\odot}$  и  $P_Y$  для солнечной системы. Природа связи  $P_Y$ – $P_H$ – $P_{0i}$  и резонансов неизвестна. Выдвинута гипотеза, что цикл Хейла, периоды Солнца и движений Земли,  $P_Y$  и  $P_D$ , — фундаментальные константы Мироздания.

## Определение жесткости геомагнитного обрезания космических лучей в магнитосфере Земли

*Кручинин П.А., Малахов В.В.*

*НИЯУ МИФИ, Москва; e-mail: kruchinin\_01@inbox.ru*

В докладе приводится методика вычисления жесткости геомагнитного обрезания (ЖГО) космических лучей в околоземном пространстве при помощи расчёта траекторий частиц в магнитном поле, основанном на методе частица-в-ячейке по схеме Бунемана-Бориса [1]. Расчет ЖГО основан на бэктрейсинге – восстановлении траектории античастицы, запущенной из каждой точки пространства в обратном по времени направлении. Жёсткость античастицы изменялась и находился случай, когда при следующем ее увеличении форма траектории изменяется с захваченной на уходящую на бесконечность. Такое значение и будет искомой величиной ЖГО. Ошибка величины вычислена путём сравнения теории Штёрмера с расчетными для дипольного поля и составляет в среднем доли процента.

Для модели внутренней магнитосферы Земли IGRF 13 построена многопараметрическая карта ЖГО в зависимости от координаты в пространстве и углов, определяющих направление прилёта частицы в данную точку. Приводится анализ полученных результатов. Так, в работе [2] отмечено, что граница по жёсткости захваченной и незахваченной областей представляет собой полутень. В работе такая картина также воспроизведена и рассматривается её эволюция сквозь разные эпохи.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №19-72-10161, <https://rscf.ru/project/19-72-10161/>

- [1] Golubkov V. S. Software for Numerical Calculations of Particle Trajectories in the Earth's Magnetosphere and Its Use in Processing PAMELA Experimental Data / V. S. Golubkov, A. G. Mayorov // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2021. – Т. 85. – № 4. – С. 383-385.
- [2] D.F. Smart, M.A. Shea. A review of geomagnetic cutoff rigidities for earth-orbiting spacecraft// Advances in Space Research 36 (2005).

**Гелиосферный модуляционный потенциал, Солнечная  
активность и скорость формирования болот  
на Северо-Западе России в Голоцене**

***Кудрявцев И.В.<sup>1,2</sup>, Дергачев В.А.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург;  
e-mail: Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru*

<sup>2</sup> *ГАО РАН, С.-Петербург,*

Эпоха похолодания последнего глобального оледенения окончилась около 11,7-11,6 тыс. лет назад. Переход к Голоцену характеризовался установлением длительного, более 10 тысяч лет, теплого периода. Однако и в этот период происходили существенные изменения климата, например, во втором тысячелетии нашей эры наблюдался Малый Ледниковый Период (МЛП). И в середине первого тысячелетия до нашей эры на Земле также имело место похолодание. Ценными источниками информации об изменении климата Земли в прошлом являются разрезы болотных и озёрных отложений, которые существуют много тысяч лет. Одной из возможных причин изменения земного климата являются вариации Солнечной активности. Так во время МЛП происходили хорошо известные уменьшения солнечной активности (СА) — глобальные минимумы Шперера, Маундера и Дальтона. Такие минимумы активности Солнца приводят к минимумам Гелиосферного Модуляционного Потенциала (ГМП), реконструкции которого производятся на основе данных по содержанию космогенных изотопов в природных архивах.

В настоящем докладе анализируется скорость формирования слоев торфа [1] и [2] некоторых болот совместно с изменением ГМП в Голоцене, прослеживается связь СА, ГМП и скорости формирования торфа этих болот. В частности, анализ работ [1], [2] и сопоставление с ГМП позволяет сделать вывод, что в первом тысячелетии до нашей эры происходило понижение СА, которое согласуется с этапами короткопериодных изменений климата, а фазы похолодания могут быть коррелированы с установленными минимумами солнечной активности.

[1] Arslanov Kh. A. et al.//Radiocarbon, 1999, v. 41, No. 1, p. 25.

[2] Arslanov Kh. A. et al.//Radiocarbon, 2001, v. 43, No. 2B, p. 581.

**Динамика ленгмюровских волн при индуцированном  
рассеянии на тепловых электронах и ионах плазмы.  
Анизотропный случай**

***Кудрявцев И.В., Ватагин П.В.***

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург;  
e-mail: Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru*

В докладе рассматривается временная эволюция углового и спектрального распределения ленгмюровских волн при их индуцированном рассеянии на тепловых электронах и ионах солнечной плазмы для анизотропного случая. Приводятся результаты численных расчетов спектральной плотности энергии ленгмюровских волн для различных углов распространения волн. Показано, что при индуцированном рассеянии плазменных волн на тепловых частицах плазмы происходит не только передача энергии от волн с большими значениями волнового вектора  $k$  к волнам с меньшими значениями  $k$ , но и изменение углового распределения плазменных волн. Необходимость рассмотрения динамики углового распределения плазменных волн вызвана тем, что оно может играть важную роль при взаимодействии волн с быстрыми частицами и для генерации электромагнитного излучения при слиянии ленгмюровских волн.

**Содержание космогенных изотопов  $^{10}\text{Be}$  и  $^{14}\text{C}$   
в природных архивах, вариации климата Земли  
и солнечной активности в середине Голоцена**

***Кудрявцев И.В.<sup>1</sup>, Дергачев В.А.<sup>1</sup>, Наговицын Ю.А.<sup>2,3</sup>***

<sup>1</sup> ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург;  
*e-mail: Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru*

<sup>2</sup> ГАО РАН, С.-Петербург,

<sup>3</sup> ГУАП, С.-Петербург,

Вариации концентрации космогенных изотопов в природных архивах отражают не только изменения активности Солнца, которые приводят к изменениям интенсивности Галактических Космических Лучей при их распространении в Солнечной Системе. На концентрацию изотопов  $^{14}\text{C}$  в кольцах деревьев и  $^{10}\text{Be}$  в слоях льда ледников полярных зон оказывают влияние также изменения земного климата во времени. Поэтому встаёт вопрос о выявлении вкладов вариаций солнечной активности и климатических изменений в вариации концентрации космогенных изотопов в природных архивах. В докладе рассматриваются такие изменения и анализируются роли указанных факторов в Среднем Голоцене

**Расчет радиально-широтной зависимости потока  
магнитной спиральности в солнечном цикле: теория  
и сравнение с наблюдениями**

Кузанын К.М.<sup>1,2</sup>, Клиорин Н.И.<sup>1,3</sup>, Рогачевский И.В.<sup>3,4</sup>,  
Степанов Р.А.<sup>1</sup>, Сафиуллин Н.Т.<sup>1,5</sup>, Поршнев С.В.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Институт механики сплошных сред, УрО РАН, г. Пермь*

<sup>2</sup>*ИЗМИРАН, г. Троицк, Москва; e-mail: kuzanyan@izmiran.ru*

<sup>3</sup>*Ben-Gurion University, Beer-Sheva Israel; e-mail: nat@bgu.ac.il*

<sup>4</sup>*Nordita, KTH and Stockholm University, Sweden;  
e-mail: gary@bgu.ac.il*

<sup>5</sup>*Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург*

В докладе приводятся результаты вычислений радиального потока мелкомасштабной магнитной спиральности как функции гелиографической широты и глубины внутри конвективной зоны Солнца. Основой этих вычислений является результат, полученный недавно в работе Клиорина и Рогачевского [1].

Согласно этому результату радиальная компонента потока псевдоскаляра магнитной спиральности содержит три вклада: диффузионный, адвективный, и третий, не связанный непосредственно с магнитной спиральностью. Последний состоит в свою очередь из трех частей. Первая часть пропорциональна квадрату среднего магнитного поля и градиенту плотности, вторая пропорциональна квадрату поля и квадрату длины пути перемешивания, а третья пропорциональна дифференциальному вращению и не зависит от мелкомасштабной магнитной спиральности.

Главный качественный вывод из проделанных вычислений: в северном/южном полушариях Солнца на низких широтах этот поток велик и отрицателен/положителен, а на высоких широтах может быть мал и противоположного знака — положителен/отрицателен. Это в целом не противоречит наблюдениям, и мы проводим более детальное сопоставление этих выводов с доступными наблюдательными данными.

Работа поддержана грантом РФФИ 21-72-20067.

- [1] Smith J. // *Astrophys. J.*, 1999, v. 99, p. 999. Kleeorin, N. ; Rogachevskii, I. <"Turbulent magnetic helicity fluxes in solar convective zone» // accepted by *J. Plasm. Phys.*, eprint arXiv:2206.14152 (2022)

## Депрессия микроволнового излучения как отклик на возникновение джета

*Кузьменко И.В.*

*Институт прикладной астрономии РАН (Уссурийский отдел),  
г. Уссурийск; e-mail: kuzmenko\_irina@mail.ru*

В развивающейся активной области сложной магнитной конфигурации, расположенной вблизи восточного лимба Солнца, в марте 2015 г. на изображениях телескопа AIA космической обсерватории SDO в крайнем ультрафиолете наблюдались многочисленные джеты. Один из них вызвал отклик в микроволновом диапазоне в виде депрессии радиоизлучения («отрицательного» всплеска) на частотах 2–17 ГГц.

Проведенный в различных диапазонах спектра анализ наблюдений показал, что джет возник к северу от стационарного радиоисточника, связанного с крупным пятном. Его вещество поглощало излучение областей спокойного Солнца и области возникновения радиовсплеска. В это же время наблюдались небольшие джеты к западу от активной области, поэтому общая площадь затенения областей спокойного Солнца составила  $>1\%$  от площади солнечного диска. Непосредственно перед исследуемым джетом возник еще один, в результате чего на солнечную поверхность возвращалось вещество двух джетов. Это привело к большей средней и максимальной величине поглощения по сравнению с другими случаями. Что немаловажно, радиовсплеск перед депрессией радиоизлучения был импульсным, а какая-либо активность в других областях Солнца отсутствовала. Совокупность всех этих факторов и явилась причиной возникновения «отрицательного» всплеска небольшой глубины.

**О взаимосвязях радиовсплесков III типа с источниками  
микроволнового и КУФ излучения во время слабой  
солнечной вспышки**

***Куприянова Е.Г.<sup>1</sup>, Кашапова Л.К.<sup>2</sup>, Рид Х.А.С.<sup>3</sup>, Лонг Д.<sup>3</sup>,  
Жанг Дж.<sup>3</sup>***

<sup>1</sup> *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,  
Санкт-Петербург; e-mail: elenku@bk.ru*

<sup>2</sup> *Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск*

<sup>3</sup> *Department of Space and Climate Physics, University College, London,  
UK*

Мы представляем результаты исследования взаимосвязей между серией радиовсплесков III типа, зарегистрированных радиогелиографом LOw Frequency ARray (LOFAR, 20-80 МГц), микроволновым излучением слабой солнечной вспышки, зарегистрированным Сибирским радиогелиографом-48 (СРГ-48, 4-8 ГГц), и джетом, зарегистрированным в крайнем ультрафиолетовом (КУФ) диапазоне космическим аппаратом SDO/AIA. Событие произошло 10 апреля 2019 и сопровождалось слабым ростом мягкого рентгеновского излучения до уровня GOES A5. Сравнительный анализ изображений, полученных в различных диапазонах электромагнитного излучения, показал, что положения источников радиовсплесков III типа ассоциируются с открытыми изогнутыми силовыми линиями магнитного поля, в основании которых лежит микроволновый источник, находящийся в активной области AR 12738. Явления в метровом и микроволновом диапазонах сопровождалось эруптивным событием типа джет. Установлено, что источник джета располагался вблизи микроволнового источника. Анализ временных профилей излучения позволил выявить корреляцию между радиовсплесками III типа и КУФ и микроволнового излучения с точностью до временного разрешения SDO/AIA и СРГ-48. Показана связь динамических характеристик джета (скорость и ускорение) с излучением в метровом и микроволновом диапазонах. Обсуждаются варианты сценария события.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-52-10012 КО-а

## Модуляция микроволнового излучения симметричной БМЗ волной в условиях солнечной короны

*Куприянова Е.Г.<sup>1</sup>, Кальтман Т.И.<sup>2</sup>, Кузнецов А.А.<sup>3,4</sup>*

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург; e-mail: [elenku@bk.ru](mailto:elenku@bk.ru)

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН, Санкт-Петербург

<sup>3</sup> Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

<sup>4</sup> Иркутский государственный университет, Иркутск

Мы представляем результаты исследования наблюдательного отклика микроволнового излучения на возмущение поперечно-неоднородного плазменного слоя, вытянутого вдоль однородного магнитного поля, бегущей вдоль него симметричной (sausage) быстрой магнитозвуковой (БМЗ) волной. Двумерное моделирование проведено в рамках аналитического решения системы линеаризованных уравнений магнитогидродинамики. В качестве источника гиросинхротронного (ГС) излучения приняты ускоренные электроны, заполняющие только часть слоя, т.е. излучающий и осциллирующий объёмы не совпадают. Мы показываем, что микроволновый отклик на линейную БМЗ волну может быть сильно нелинейным. При этом степень нелинейности, определяемая как отношение фурье-мощности второй гармоники к фурье-мощности основной гармоники, зависит от комбинации ширины источника ГС излучения и угла зрения к магнитному полю. В докладе показаны различия полученного эффекта для оптически толстых и оптически тонких ГС источников. Обсуждаются области применения найденного эффекта для диагностики поперечных масштабов вспыхивающих осциллирующих корональных структур.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 21-12-00195). Расчеты радиоизлучения выполнены Кальтман Т.И. в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации 075-15-2022-262 (13.МНПМУ.21.0003).

## Анализ и расчет модели эруптивного протуберанца

Купряков Ю.А.<sup>1,2</sup>, Бычков К.В.<sup>2</sup>, Белова О.М.<sup>2</sup>,  
Горшков А.Б.<sup>2</sup>, Kotrč P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Astronomical Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic,  
Ondřejov Observatory; e-mail: kupry@asu.cas.cz*

<sup>2</sup>*Государственный астрономический институт  
им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова, 119234 Москва;  
e-mail: kupry@sai.msu.ru*

Некоторые типы эруптивных протуберанцев, тесно связаны с солнечными вспышками, а иногда даже составляют часть процесса вспышки. Когда эти объекты наблюдаются на краю видимого солнечного диска, их очень трудно отличить друг от друга. Только детальные спектральные исследования позволяют решить вопрос, что же мы наблюдали, протуберанец или вспышку. Мы представляем анализ события, произошедшее на восточном лимбе 21 апреля 2015 г. в 13:05-13:58 UT, которое наблюдалось горизонтальным телескопом и спектрографом (Ondřejov observatory). Изучаемому извержению сильно искривленного протуберанца предшествовала лимбовая вспышка в той же активной области, начиная с 13:07 UT. Извержение сильно искривленного протуберанца сопровождалось появлением источника мягкого рентгеновского излучения и сильным нагревом плазмы протуберанца.

Цель работы — изучение поведения кривых интенсивности излучения в линиях  $H\alpha$ ,  $H\beta$ , D3,  $H\text{CaII}$  и  $\text{CaIR}$  8542 Å в процессе развития протуберанца и сравнение результатов с расчетными значениями. Выполнены расчёты в линиях водорода, иона  $\text{CaII}$  и атома гелия с учётом основных процессов, определяющих излучение газа непрозрачного в спектральных линиях. Результаты обсуждаются.

**Развитие прогнозирования вспышечной активности  
в микроволновом диапазоне**

*Курочкин Е.А.<sup>1</sup>, Петерова Н.Г.<sup>1</sup>, Топчило Н.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>СПбФ САО РАН, Санкт-Петербург; e-mail: 79046155404@yandex.ru

<sup>2</sup>СПб ГУ, С.-Петербург

В качестве предвспышечного признака в данной работе рассматривается повышенная яркость микроволнового излучения на радиогелиографе Нобеяма (NoRH) [1] на частоте 17 ГГц, а также спектры полных потоков радиоизлучения и структура параметра Стокса V на РАТАН-600 [2] в широком диапазоне волн. Имеется ряд признаков активности предвспышечных активных областей (АО) как в оптическом, так и в радиодиапазоне. В качестве примера предвспышечного признака можно привести степень сложности фотосферных магнитных полей АО. В микроволнах же можно оценить поток радиоизлучения или яркость источников радиоизлучения на одной или нескольких частотах, а также скорость изменения этих параметров [3, 4, 5]. В данной работе анализируется повышенная яркость микроволновых источников и полные потоки микроволнового излучения АО в 24-м цикле солнечной активности.

- [1] Hanaoka Y., Shibasaki K., Nishio M., et al. // Proc. of Kofu Symp. (1994) 35
- [2] Tokhchukova, S. Kh. // Astrophys. Bull. **66** (2011) 379
- [3] Tanaka, H. ; Enome, S., // Sol. Phys., **40** (1975) 123
- [4] Peterova, N. G. ; Topchilo, N. A. ; Kurochkin, E. A., // Geomagn. Aeron. **61** (2021) S24.
- [5] Bogod, V. M. ; Svidskiy, P. M. ; Kurochkin, E. A. et al., // Astrophys. Bull. **73** (2018) 478.

**Эксперименты по наблюдению Солнца с высоким  
пространственным разрешением на БСТ-1 КрАО РАН**

*Куценко А.С.*

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный;  
e-mail: alex.s.kutsenko@gmail.com*

В работе описываются результаты наблюдений Солнца с высоким пространственным разрешением на Башенном солнечном телескопе им. А.Б. Северного КрАО РАН (БСТ-1), которые проводились в октябре и ноябре 2021 г. При наблюдениях с Земли пространственное разрешение оптических телескопов ограничено атмосферой. Разрешение можно повысить путем математической обработки сотен изображений объекта, сделанных с короткой экспозицией. Для получения данных оптическая схема БСТ-1 была дополнена камерой и быстрым детектором, позволяющим получать десятки изображений поверхности Солнца в секунду. Наблюдения обрабатывались программными пакетами для спекл-реконструкции астрономических наблюдений. Детальное визуальное изучение полученных изображений и их сравнение с данными космической обсерватории SDO/HMI показали обнадеживающие результаты. На восстановленных кадрах надежно разрешаются гранулы и видна тонкая структура солнечных пятен. Наблюдения с высоким пространственным разрешением на БСТ-1 открывают новые возможности для исследования Солнца.

## Характеристики магнитного потока в затухающих активных областях

*Куценко О.К., Абраменко В.И., Куценко А.С.*

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт. Научный;  
e-mail: olga.k.kutsenko@yandex.ru*

В данной работе исследовались четыре затухающие активные области (АО). Критерии выбора областей были следующие: биполярные активные области, для которых на одном обороте Солнца видна фаза всплытия и полного затухания без всплытия дополнительного потока. Изменения магнитного потока исследовались с помощью метода спектров мощности.

Было обнаружено, что спектральный индекс  $\alpha$ , характеризующий наклон спектра мощности магнитного поля, плавно уменьшается при затухании активной области. Также были исследованы изменения энергии магнитного поля на разных пространственных масштабах. Магнитный поток уменьшается одновременно на всех масштабах, но основная убыль происходит на больших масштабах ( $>6$  Мм). Процесс затухания АО является неоднородным: уменьшение энергии может сменяться ее приростом. Были обнаружены эпизодические признаки прямого каскада, когда энергия больших структур переходит в энергию малых. Т.е. большие элементы АО распадаются на более мелкие. Прямой каскад наблюдался в 24-43 % времени затухания АО, причем лишь около половины энергии больших масштабов перешла в энергию малых. Следовательно, прямой каскад не является основным способом выведения магнитного потока из АО при затухании.

Были обнаружены признаки погружения магнитной петли под фотосферу. Во время всплытия противоположные магнитные полюса расходились друг от друга до некоторого максимального удаления, после чего начиналась диссипация АО. При этом наблюдалось разделение АО на две зоны. Во внешней зоне магнитный поток дробился до размеров супергрануляционной сетки, и дробление сопровождалось расхождением магнитных структур. Во внутренней зоне мы наблюдали схождение основных магнитных полюсов биполярной структуры АО, что свидетельствует о погружении магнитного потока под фотосферу.

Работа поддержана грантом РФФ 18-12-00131.

## Анализ дифференциального вращения анти-Хейловских активных областей

*Литвишко Д.В., Куценко А.С., Абраменко В.И.*

*КрАО РАН, Научный; e-mail: 24dasha01@gmail.com*

В настоящей работе проведено исследование вращения по диску Солнца анти-Хейловских активных областей. Для данного анализа мы использовали магнитограммы полного диска продольного поля, полученные инструментом Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) орбитальной обсерватории Solar Dynamics Observatory (SDO), а в качестве источника биполярных групп обратной полярности (анти-Хейловских АО) был использован каталог биполярных активных областей, нарушающих закон полярности Хейла за 1989-2018 годы.

За период с 2010 по 2018 годы измерены скорости вращения 44 активных областей. Сравнивая полученные результаты скоростей вращения анти-Хейловских АО с остальными АО, мы провели статистический тест обоих распределений, который показал, что данные распределения статистически неразличимы, поэтому, можно считать, что скорости вращения анти-Хейлов неотличимыми от скоростей вращения других АО, следовательно, все они подчиняются одному и тому же закону дифференциального вращения.

## **Изгибные колебания аркады корональных петель с конечной плазменной бета**

*Лопин И.П.*

*ИПА РАН, Уссурийский отдел, Лаборатория Физики Солнца*

Рассмотрены изгибные колебания полукруглого магнитного слоя с конечной плазменной бета, моделирующего аркаду корональных магнитных петель. Учитывается перпендикулярное распространение, т.е. распространение волн вдоль оси аркады. Обнаружено, что в модели существуют две поверхностные моды, именуемые как более быстрая и более медленная. В пределе нулевого плазменного бета более быстрая мода представляет собой вертикально поляризованную изгибную моду, а более медленная мода производит изгибные движения, поляризованные вдоль оси аркады, при условии, что перпендикулярная длина волны возмущений порядка или больше толщины слоя  $a$ . В противном случае, более быстрая мода приводит к периодическому смещению аркады петель вдоль ее оси, а более медленная мода имеет смешанные свойства. При этом, фазовые скорости обеих мод очень близки, когда перпендикулярная длина волны сравнима с толщиной слоя и стремятся к внешней и внутренней Альфвеновским скоростям соответственно, если перпендикулярная длина волны стремится к бесконечности. По мере того, как внутренняя плазменная бета становится конечной и растет, фазовая скорость более быстрой моды увеличивается, а более медленной моды уменьшается. При конечных бета эти моды представляют собой суперпозицию вертикальных изгибных колебаний и колебаний, ориентированных вдоль оси аркады, сопровождающиеся существенными возмущениями плотности. Представляется перспективным использовать полученные результаты для интерпретации квазипериодических пульсаций в солнечных вспышках в терминах изгибных колебаний вспышечных арок, с большим плазменным бета, при условии, что разработанная теория применима к тороидальной модели одиночной вспышечной петли при выборе подходящего значения перпендикулярной длины возмущений.

## Синхротронное суб-терагерцовое излучение солнечных вспышек

*Мельников В.Ф.<sup>1</sup>, Филатов Л.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,  
Санкт-Петербург; e-mail: v.melnikov@gaoran.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ Нижегородский архитектурно-строительный  
университет, Нижний Новгород; e-mail: filatovlv@yandex.ru

В последние годы всё больший интерес приобретают наблюдения солнечных вспышек в суб-терагерцовом диапазоне. Интерес, прежде всего, связан с открытием бразильской группой Кауфмана так называемой суб-ТГц компоненты с положительным наклоном частотного спектра. Механизм генерации этой компоненты посвящено множество работ. Однако, стоит отметить, что для значительной части (почти половины) всплесков в диапазоне 200–400 ГГц, наблюдавшихся на бразильском суб-миллиметровом телескопе SST, наклон спектра оказался отрицательным (Fernandes et al. 2017, Solar Phys, 292, 21). Это согласуется с частотным спектром микроволновых ( $f = 3-30$  ГГц) всплесков, которые генерируются гиросинхротронным механизмом в оптически тонком источнике электронами со спадающим степенным спектром по энергиям. Скорее всего, суб-ТГц излучение с отрицательным наклоном частотного спектра также является гиросинхротронным (синхротронным). Если это так, то суб-ТГц наблюдения солнечных вспышек и микро-вспышек на пущенном недавно в строй интерферометре ALMA открывают богатейшие возможности диагностики процесса ускорения и распространения релятивистских электронов в диапазоне энергий  $E = 5-30$  МэВ, ранее недоступном для наблюдений.

Данная работа посвящена разработке методов суб-ТГц диагностики процесса вспышечного ускорения и распространения электронов в диапазоне релятивистских энергий ( $E = 5-30$  МэВ) на основе методов, развитых для микроволновых всплесков, за которые ответственны электроны более низких (среднерелятивистских,  $E = 0.3-3$  МэВ) энергий. Найдены особенности пространственного распределения яркости и частотного спектра суб-терагерцового излучения, которые могут быть обнаружены современными наблюдениями на интерферометре ALMA в диапазоне 100-600 ГГц.

## Области энерговыделения в солнечной короне

*Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.*

*ИЗМИРАН, Москва, г. Троицк; e-mail: mvl@izmiran.ru*

Исследуется проблема нагрева короны Солнца. С этой целью проводится поиск областей с максимумами температур в короне, которые являются индикаторами мест энерговыделения. Определение искомой температуры основывалось на эффекте влияния движущихся электронов на положение плоскости поляризации рассеянного фотосферного излучения, которое наблюдается как К-корона. Положение плоскости поляризации рассчитывалось по данным поляризационных наблюдений К-короны, которые были получены авторами во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 года. Анализ этих данных показал наличие трех экстремумов в отклонении положения плоскости поляризации от стандартного. Расположение экстремумов было устойчивым в пределах экваториальной зоны и средних широт. Они находились на удалении от центра Солнца на 1.3 Rs, 1.8 Rs, 2.5–2.7 Rs (в солнечных радиусах). С учетом конфигурации коронального магнитного поля в эпоху низкой солнечной активности, на которое приходилось затмение 2008 года, были получены величины экстремальных электронных температур  $\approx 10$  МК на указанных расстояниях в солнечной короне.

## Энергетические факторы солнечных вспышек

*Мерзляков В.Л.*

*ИЗМИРАН, Москва, г. Троицк; e-mail: mvl@izmiran.ru*

Вспышки в активных областях Солнца варьируются по энергии на 5 порядков. Проводится поиск факторов, которые приводят к такого рода различиям. С этой целью изучается ситуация с ускорением электронов, которые вносят основной вклад в энергию вспышки. Предполагается, что процесс ускорения происходит в магнитной особенности X-типа. Проведенный анализ этого процесса показал, что основным фактором энергетики солнечной вспышки является количество электронов, поступающих в зону ускорения. Изменение этого потока электронов дает 4 порядка по энергии. При этом оказалось, что площадь сечения самой зоны ускорения не зависит от энергии вспышки. Диаметр этого сечения имеет величину около 100 км.

**Расширение и сжатие системы вспышечных петель  
во время вспышки 15.01.2022 по данным  
в ультрафиолетовом и микроволновом диапазонах**

***Мешалкина Н.С.<sup>1</sup>, Мельников В.Ф.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск;  
e-mail: nata@iszf.irk.ru*

<sup>2</sup>*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,  
Санкт-Петербург; e-mail: v.melnikov@gaoran.ru*

В настоящей работе исследовано поведение петлеобразной структуры, представляющей собой систему вспышечных петель во время вспышки 15.01.2022 по данным в ультрафиолетовом (SDO/AIA) и микроволновом (Сибирский радиогелиограф – СРГ) диапазонах. Установлено, что петельная структура была единой и изменение её высоты и длины происходило синхронно на всем протяжении от оснований до вершины и от нижней границы до верхней границы. Положение оснований было практически неизменным на протяжении всей вспышки. Показано, что на фазе роста интенсивности микроволнового излучения в течение 2–3 мин происходило систематическое увеличение высоты петельной структуры (для нижней и верхней границ со средней скоростью 50–60 км/с). После пика излучения, на фазе спада, увеличение высоты сменилось её уменьшением со скоростью 12 км/с для нижней границы и 7–8 км/с для верхней границы. Уменьшение высоты продолжалось около 15 мин. Наступление максимума высоты для верхней границы по сравнению с нижней произошло с задержкой в 1–2 мин, а спада – с задержкой в 5 мин.

Рассмотрены возможные теоретические модели расширения и сжатия магнитных петельных структур, в частности, модели, основанные на диссипации свободной магнитной энергии в активной области.

**Смешивание излучения двух компонент плазмы  
в апертуре Hinode SOT/SP при наблюдениях полутени**

*Можаровский С.Г.*

*Уссурийская астрофизическая обсерватория ИПА РАН, Уссурийск;  
e-mail: mozharovskys@mail.ru*

Профили Стокса линий Fe I  $\lambda$  6301, 6302 Å, которые предоставляет спектрополяриметр Hinode, дают возможность анализировать материал огромным числом способов. Интересная возможность получается, если определять длину волны середины красного крыла каждой из линий. Карта, построенная из этих данных, выделяет участки поверхности с максимальным красным смещением, при этом наиболее выделенными оказываются участки с магнитным полем. На солнечной поверхности таким образом оказываются выделены оконечности волокон полутени с наиболее сильным эвершедовским течением.

Оказалось, что для таких участков характерно, хотя и не обязательно, проявление двух компонент или двух потоков плазмы, которые различаются вертикальной скоростью потока, напряжённостью поля, а иногда и его знаком. В последнем случае профиль параметра круговой поляризации из антисимметричного превращается в симметричный. Между компонентами плазмы нет вещества с плавно меняющимися промежуточными значениями параметров, чаще всего видно наложение именно двух компонент. Та, компонента которая имеет большие значения скорости Эвершеда, обычно имеет большую доплеровскую ширину. Наложение потоков можно наблюдать как в активных комплексах со сложной структурой полутени, так и в правильных развитых пятнах. Ряд характерных примеров приведён в докладе.

## Взаимосвязь высыпаний частиц из радиационного пояса Земли и космических гамма-всплесков

*Морозова Д.Н., Майоров А.Г.*

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,  
Москва; e-mail: dashia110999@mail.ru*

В период с 2008 по 2016 год на околоземной орбите независимо друг от друга проводилось два космофизических эксперимента: Fermi [1] и PAMELA [2]. Данные спектрометра PAMELA об измерениях потоков заряженных космических лучей в околоземном пространстве в совокупности с наблюдениями гамма-всплесков обсерваторией Fermi дают возможность исследовать влияние электромагнитного излучения (ЭМИ) от космических гамма-всплесков на потоки заряженных частиц в радиационном поясе Земли. Для поиска взаимодействия ЭМИ гамма-всплеска с заряженными захваченными частицами построены ежемесячные фоновые карты темпов счета детекторов время-пролётной системы прибора PAMELA [3] в системе координат Мак-Илвейна с учетом питч-углов частиц. Изучена временная зависимость разницы темпа счета в момент прихода гамма-всплеска и фоновыми значениями (во временном промежутке за несколько минут до и после).

Обнаружена пара событий, когда в результате прихода излучения от гамма-всплеска произошло увеличение темпа счета прибора PAMELA относительно фоновых величин. Проведен анализ достоверности замеченного эффекта: вычислено количество стандартных отклонений в распределении разницы темпов счета между фоновыми значениями и в момент регистрации гамма-всплесков. Для первого события количество стандартных отклонений составило  $\sim 4.5$ , для второго  $\sim 3.6$ . Обнаруженные события могут указывать на существование механизма взаимодействия электромагнитного излучения высокой энергии от гамма-всплесков с заряженными частицами в околоземном пространстве.

- [1] A. von Kienlin et al. // *Astrophys. J.*, 2020, v. 893, p. 46.
- [2] Picozza P. et al. // *Astropart. Phys.*, 2007, v. 27, pp. 296-315.
- [3] Barbarino G. et al. // *Proceedings Supplements*, 2003, v. 125, pp. 298-302.

**Предвестники солнечных вспышек и суб-терагерцовое  
излучение события 28.03.2022**

Моторина Г.Г.<sup>1,2</sup>, Цап Ю.Т.<sup>3</sup>, Смирнова В.В.<sup>3</sup>,  
Моргачев А.С.<sup>4</sup>, Шрамко А.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук, С.-Петербург; e-mail: g.motorina@yandex.ru

<sup>2</sup> Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences, Ondrejov, Czech Republic,

<sup>3</sup> Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный,

<sup>4</sup> Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

Проведен анализ наблюдений, зарегистрированных в рентгеновском (GOES, STIX, FERMI), крайнем ультрафиолетовом (AIA/SDO) и микроволновом (РТ-2, РТ-3, INAF RT, РТ-7.5) диапазоне, солнечной вспышки 28 марта 2022 г. рентгеновского класса М4.0. Особенности радиоспектра, а также временные профили вспышечного излучения свидетельствуют о тепловой природе суб-терагерцовой (миллиметровой) компоненты, обнаруженной на РТ-7.5. МГТУ им. Н.Э. Баумана на 93 ГГц. Установлено, что начало события на 93 ГГц опережает на несколько минут импульсную фазу вспышки. Для интерпретации наблюдений выполнен расчет миллиметрового излучения на основе дифференциальной меры эмиссии по данным AIA/SDO, наблюдений в рентгеновском диапазоне, а также численных расчетов. Показано, что нагрев суб-терагерцового источника излучения, расположенного в переходной области и верхней хромосфере Солнца, не может быть связан как с ускоренными в солнечной короне электронами, так и тепловыми потоками из вспышечных областей вершины корональных арок. Обсуждается возможное происхождение теплового предвестника вспышки в переходной области/хромосфере Солнца.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ и GACR (No.20-52-26006), РНФ No.22-12-00308, РНФ No.20-72-10158 и Минобрнауки (НИР No. 1021051101548-7-1.3.8).

**Исследование связи между микроволновым  
и метровым излучением всплеска на фазе спада  
круговой вспышки 22 мая 2021 по данным Сибирского  
радиогелиографа и Иркутского радара  
некогерентного рассеяния**

*Мотык И.Д., Сетов А.Г., Шамсутдинова Ю.Н.,  
Жданов Д.А., Кашапова Л.К.*

*ИСЗФ СО РАН, Иркутск; e-mail: [ilymotyk@gmail.com](mailto:ilymotyk@gmail.com)*

На фазе спада солнечных вспышек периодически наблюдаются события, связанные с дополнительными процессами энерговыделения. Вопрос о пространственной и физической связи между основной вспышкой и этими событиями решается индивидуально в каждом случае. В данной работе мы представляем результаты анализа события, которое произошло во время фазы спада круговой вспышки 22 мая 2021 г. с максимумом в 06:15:15 UT. Круговые вспышки имеют необычную структуру и являются источниками джетов, что может приводить к возникновению интересных явлений в метровом и дециметровом диапазонах [1]. Иркутский радар некогерентного рассеяния зафиксировал всплеск на частоте 161 МГц в период 06:16:45-06:17:00 UT 22 мая 2021 г, а динамические спектры со спектрографов сети e-Callisto подтвердили его солнечную природу. Они указывают на то, что событие является радио всплеском III типа. На корреляционной кривой Сибирского радиогелиографа на частоте 5.6 ГГц также был выявлен небольшой всплеск, что позволило предположить существование связи между событиями в различных спектральных диапазонах.

Анализ изображений круговой вспышки и исследуемого события в микроволновом диапазоне показал, что источник микроволнового всплеска находится в одной активной области с круговой вспышкой, однако всплеск не является частью вспышки. Используя положение события, полученное по наблюдениям на частоте 5.6 ГГц и изображениям AIA/SDO, удалось установить, что всплеск связан с эруптивным событием. В работе обсуждаются сценарии данного события, в том числе возможная роль круговой вспышки как триггера исследуемого события.

- [1] Ning, Z., Wang, Y., Hong, Z., and Li, D. // Solar Physics. 2022. V. 297, N. 1, P 2-26.

## Длительные изменения средних свойств групп солнечных пятен

*Наговицын Ю.А.<sup>1,2</sup>, Осипова А.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия

Как показано ранее, группы солнечных пятен различаются по площади и времени жизни, образуя две популяции: мелкие короткоживущие SSG и крупные долгоживущие LLG. Площади распределены би-логнормально с типичными значениями 15 и 215 мдп, мелкие группы имеют время жизни меньше 5 дней, крупные — больше.

Рассмотрены длительные изменения статистических свойств площадей групп пятен. Показано, что средние значения площадей значительно изменяются на временах порядка нескольких десятков лет: у SSG в интервале от 5 до 35 мдп, LLG — от 90 до 400 мдп. Эти изменения происходят параллельно.

Рассмотрены возможные приложения полученных результатов к построению реконструкций рядов индексов солнечной активности в прошлом.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (грант № 075-15-2020-780).

**Две популяции групп солнечных  
пятен и меридиональные скорости на Солнце**

**Наговицын Ю.А.<sup>1,2</sup>, Осипова А.А.<sup>1</sup>, Певцов А.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ГУАП, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> *National Solar Observatory, Boulder, USA*

Ранее мы показали, что две популяции групп солнечных пятен — короткоживущие мелкие SSG и долгоживущие крупные LLG — имеют различный характер дифференциального вращения: SSG обладают одномодовым быстрым вращением, а LLG двухмодовым: и быстрым и медленным. Вращение быстрой и медленной мод значительно различается на  $0.266 \pm 0.014$  град/сут.

Представлены результаты исследования меридиональной скорости групп пятен у популяций по материалам Гринвичского каталога.

Оказалось, что у обеих популяций существуют выраженные корреляции меридиональных и долготных скоростей групп пятен, но различающиеся между собой.

Обсуждается выбор Керрингтона скорости референтного вращения Солнца.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (грант № 075-15-2020-780).

**Эмпирическая модель спектра солнечного излучения  
в диапазоне длин волн 0–190 нм**

***Николаева В.Д.<sup>1,2</sup>, Гордеев Е.И.<sup>3</sup>***

*<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение  
Арктический и антарктический научно-исследовательский  
институт, Санкт-Петербург, Россия;  
e-mail: nikolaeva.vera@gmail.com*

*<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения  
радиоволн имени Н.В. Пушкова Российской академии наук, Москва,  
Россия*

*<sup>3</sup> Санкт-Петербургский Государственный Университет,  
Санкт-Петербург, Россия*

Solar Spectrum Prediction for Applications and Modeling (SPAM) – новая эмпирическая модель потока рентгеновского, крайнего и дальнего УФ излучения Солнца, приходящего на верхнюю границу атмосферы Земли. Модель основана на среднесуточных измерениях космического аппарата TIMED за 14 лет с 2002 по 2016 год. В этот промежуток времени производились регулярные калибровки детектора SEE, что позволило получить большой массив достоверных данных по дифференциальному потоку энергии солнечного излучения в диапазоне длин волн от 0 до 190 нм. Для построения модели мы использовали параметризацию спектра по единственному параметру – индексу  $F_{10.7}$ , который является надежной мерой солнечной активности. Модель SPAM состоит из двух подмоделей для общего и специального использования. Первая, Solar-SPAM, представляет собой модель потока энергии фотонов во всем измеряемом спутником TIMED спектральном диапазоне с разрешением 1 нм. Модель Solar-SPAM может быть использована для широкого круга приложений в различных областях исследований. Вторая модель, Aero-SPAM, разработана специально для аэрономических исследований и обеспечивает расчет потока фотонов для 37 конкретных интервалов длин волн (20 каналов и 16 отдельных спектральных линий в диапазоне 5–105 нм, а также дополнительно для сильной спектральной линии Ly-alpha), которые играют основную роль в фотоионизации верхней атмосферы Земли. Предоставлен полный набор коэффициентов параметризации, что позволяет сразу же реализовать модель для исследований. Кроме того, модель Aero-SPAM применена для создания готового к использованию численного приложения для расчета скоростей фотоионизации основных компонентов атмосферы  $N_2$ ,  $O_2$ , O, N и NO с известными сечениями поглощения и ионизации.

## Solar and Stellar Flares: Frequency, Active Regions, and Stellar Dynamo

*Кацова М.М.<sup>1</sup>, Обридко В.Н.<sup>2</sup>, Соколов Д.Д.<sup>3,2</sup>,  
Лившиц И.М.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*ГАИШ МГУ им.М.В.Ломоносова, Москва;  
e-mail: mkatsova@mail.ru, ilivsh@gmail.com*

<sup>2</sup>*ИЗМИРАН им.Н.В.Пушкова, Троицк, Москва;  
e-mail: obridko@mail.ru*

<sup>3</sup>*Физический факультет МГУ им.М.В.Ломоносова, Москва;  
e-mail: sokoloff.dd@gmail.com*

We demonstrate that for weak solar flares the dependence of their frequency occurrence on spottedness can be rather weak. The fact is that such flares can occur in both small and large active regions. At the same time, powerful large flares of classes M and X occur much more often in large active regions. In energy estimates, the mean magnetic field in starspots can also be assumed to be equal to the mean field in the sunspot umbra. So the effective mean magnetic field is 900 G in sunspots and 2000 G in starspots. Moreover, the height of the energy storage cannot be strictly proportional to square root of spottedness. For stars, the fitting factor is an order of magnitude smaller. The analysis of the occurrence rate of powerful solar X-ray flares of class M and X and superflares on stars shows that, with allowance for the difference in the spottedness and compactness of active regions, both sets can be described by a single model. Thus, the problem of superflares on stars and their absence on the Sun is reduced to the problem of the difference in the effectiveness of the dynamo mechanisms.

This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grant No 075-15-2020-780).

**О возможной корреляции между многовековыми вариациями солнечной активности и летней температуры в южной части Южной Америки**

*Огурцов М.Г.*

*Физико-Технический институт им. Иоффе, С.-Петербург;*

*e-mail: maxim.ogurtsov@mail.ioffe.ru*

*Главная Астрономическая обсерватория, Пулково, С.-Петербург*

Реконструкция летней (декабрь-февраль) температуры южной части Южно-Американского континента исследована на временном интервале 900-1995 гг. Обнаружены значимые временные вариации с периодами около 500 лет, около 250 лет и 90-140 лет. Была изучена корреляция между соответствующими климатическими и солнечными периодичностями. В качестве индикаторов долговременных колебаний солнечной активности использовались данные о концентрации космогенного бериллия во льдах Антарктиды и восстановленный с использованием этого ряда солнечный модуляционный потенциал. Оказалось, что корреляции между двухсотлетними и вековыми вариациями температуры и солнечной активности нет. Однако была обнаружена достаточно значимая ( $P=0.10-0.11$ ) корреляция между многовековыми (периоды 282-487 лет) колебаниями температуры в южной части Южно-Американского континента и активностью Солнца. Это может свидетельствовать о влиянии солнечной активности на климат Южной Америки хотя из-за краткости ряда сделать однозначный вывод сложно. Полученные результаты указывают на возможность существования естественных вариаций климата Земли с периодами, близкими к солнечным циклам. Наличие таких периодичностей может затруднить выявление солнечно-климатических связей, поэтому этот вопрос требует дальнейшего изучения.

## Двухфазная модель ускорения КВМ

*Ожередов В., Струминский А.Б.*

*Институт Космических Исследований РАН, Москва;  
e-mail: ozheredov2016@gmail.com*

Траектория КВМ, попадая в поле зрения инструментов C1 и C2, измеряется в ограниченном числе точек. Для расчетов кинематических характеристик КВМ обычно используется линейная аппроксимация [1], но она имеет систематическую погрешность. Для ее устранения в [2] была предложена логарифмическая модель вида

$$r(t) = A \ln[1 + B(t - t_0)] + C(t - t_0) + r_0$$

где  $r(t)$  — координата (обычно в солнечных радиусах),  $A, B, C, r_0$  — настроечные коэффициенты. Данная модель представляет собой суперпозицию линейной и логарифмической функции, а потому описываемая ею траектория не имеет точек перегиба, что снова порождает систематическую ошибку. Мы предлагаем модель, которая на интерполирует траекторию внутри интервала наблюдений по формуле

$$r(t) = \begin{cases} r_1 + at + bt^2, & r < R_1, \\ R_1 + ct + dt^2, & R_1 < r < R_2, \\ R_2 + et, & r > R_2. \end{cases}$$

и экстраполирует ее между моментом старта  $t_0$  и моментом первого наблюдения  $t_1$  по формуле

$$r(t) = \begin{cases} r_0 + ft^2, & t < t_\alpha, \\ r_0 + gt + ht^2, & t_\alpha < t < t_1 \end{cases}$$

где  $r_0 = 1.25R_\odot$ . При заданных положениях границ раздела сред  $R_1$  и  $R_2$  коэффициенты  $a, b, c, d, e, f, g, h$ , а также момент времени  $t_\alpha$  ищутся аналитически посредством процедуры backtracing, однако задача оптимального нахождения самих  $R_1$  и  $R_2$  существенно невыпукла (для ее решения мы использовали роевой алгоритм поиска глобального минимума). Момент старта  $t_0$  предоставляется отдельно.

Загрузив с сайта LASCO данные по 12 919 КВМ, мы построили траектории для каждого из них. Оказалось, что:

- Кинематические характеристики траекторий демонстрируют хорошее согласие с мушкетерскими измерениями: скорость до 3000 км/сек, ускорение до 13 км/сек<sup>2</sup>.
- Распределения высот  $R_1$  и  $R_2$  унимодальны и имеют хорошо заметный сдвиг относительно друг друга.

- [1] [https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/SOHO LASCO CME catalog](https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/SOHO_LASCO_CME_catalog)
- [2] Markus J. Aschwanden // arXiv:1906.05804v1 [astro-ph.SR] 13 Jun 2019

## Зависимость дифференциального вращения от морфологической структуры групп пятен

*Осипова А.А.<sup>1</sup>, Наговицын Ю.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *Государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия*

Теория динамо утверждает, что группы солнечных пятен – это проявления тороидального магнитного поля, которое образуется благодаря дифференциальному вращению Солнца. Тогда важная информация о происхождении групп может крыться в их наблюдаемом поверхностном дифференциальном вращении. Наговицын и др. (2018) наблюдали две моды дифференциального вращения крупных групп солнечных пятен, однако чем именно объясняется этот феномен, осталось необъясненным. В данной работе проверяется предположение о зависимости дифференциального вращения групп солнечных пятен от их морфологической структуры. Используются данные Гринвичской обсерватории за промежуток 1874–1976 гг. Получено, что кривая вращения более быстрой моды крупных долгоживущих групп пятен LLG1 близка к кривым дифференциального вращения групп сложной морфологической структуры, растянутым по долготе (streams), а кривая вращения более медленной моды LLG2 близка к кривым дифференциального вращения одиночных групп (singles), более простых по своей морфологической структуре.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ (грант № 075-15-2020-780).

- [1] Yu.A. Nagovitsyn, A.A. Pevtsov, A.A. Osipova. Two Populations of Sunspots: Differential Rotation. // *Astronomy Letters*, 2018, Vol. 44, No. 3, pp. 202–211., 2018

**Особенности химического состава СКЛ (нейтрон  
избыточные изотопы)**

***Ковальцов Г.И.<sup>1</sup>, Остряков В.М.<sup>2</sup>, Шараг С.П.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, С.-Петербург*

<sup>2</sup> *СПбПУ Петра Великого, С.-Петербург;*

*e-mail: Valery.Ostryakov@mail.ioffe.ru*

В работе получено аналитическое решение стационарного уравнения Фоккера-Планка, описывающего ускорение и утечку частиц из некоторой вспышечной области на Солнце. Коэффициенты пространственной и импульсной диффузии при этом зависят от отношения  $Q/A$  ( $Q$  — заряд ускоряемого иона и  $A$  — его атомная масса). Эта зависимость имеет вполне определённую форму для турбулентности в виде Альфвеновских волн со случайными фазами, она была получена другими авторами в рамках квазилинейного подхода в физике плазмы. Полученные решения применены для объяснения аномалий состава СКЛ, которые наблюдались в повышенном содержании нейтрон избыточных изотопов (в 2-4 раза) по сравнению с их естественной распространённостью. В рамках этой модели показатель спектра турбулентности должен быть  $S > 3$ , что, скорее всего, соответствует неустановившемуся процессу генерации такой турбулентности в процессе самой солнечной вспышки.

## Солнечная активность за последние 10 миллионов лет

Павлов А.К.<sup>1</sup>, Васильев Г.И.<sup>1</sup>, Константинов А.Н.<sup>2</sup>,  
Остряков В.М.<sup>2</sup>, Фролов Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФТИ им А.Ф.Иоффе РАН, С.Петербург;  
e-mail: anatoli.pavlov@mail.ioffe.ru

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра  
Великого; e-mail: melihova.es@edu.spbstu.ru

Протоны и альфа-частицы галактических (ГКЛ) и солнечных космических лучей (СКЛ) производят ядерные реакции в поверхностных слоях лунного грунта. В результате образуются в том числе долгоживущие радионуклиды. Луна является интегральным детектором интенсивности космических лучей, а равновесная концентрация радионуклида достигается приметно за 3 периода полураспада. Глубинный ход концентрации радионуклида определяется спектрами ГКЛ и СКЛ и, следовательно, зависит от среднего уровня солнечной активности на шкале времени сопоставимой с периодом полураспада. Использование данных по нескольким радионуклидам с различными временами полураспада позволяет оценить временной ход интенсивности космических лучей в прошлом для различных периодов. В нашей работе проведен анализ глубинного хода концентрации космогенных изотопов  $^{14}C$ ,  $^{41}Ca$ ,  $^{36}Cl$ ,  $^{26}Al$ ,  $^{10}Be$ ,  $^{53}Mn$  (периоды полураспада: 5.7, 100, 300, 720, 1400, 3700 тысяч лет соответственно) в керне лунного грунта, доставленного экспедицией Apollo-15. Кроме модулирующего действия солнечной активности спектры и потоки ГКЛ могут существенно изменяться при близких вспышках Сверхновых. По результатам наших расчетов можно сделать вывод, что модулирующее действие солнечной активности на поток ГКЛ с учётом вероятной близкой вспышки Сверхновой 2.5 миллиона лет назад, существенно не менялось в течение последних 10 миллионов лет.

## Особенности хромосферной вспышки 10 мая 2022 года

*Парфиненко Л.Д.*

*Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение Науки  
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН  
(Санкт-Петербург)*

По данным обсерватории солнечной динамики (SDO) исследована хромосферная вспышка класса X от 10 мая 2022г. Вспышка наблюдалась в широком спектральном интервале, включая оптику, радио и рентген.

Пик мощности излучения приходится на 16ч 55мин моск. времени. Видна синхронность излучения.

(<https://sdo.gsfc.nasa.gov>)

**Вариации потоков электронов во внешнем  
радиационном поясе в период 2021-2022  
по данным с КА РФ**

***Протопопов Г.А.<sup>1</sup>, Бондарев Е.А.<sup>1</sup>, Чубунов П.А.<sup>1</sup>,  
Репин А.Ю.<sup>2</sup>, Денисова В.И.<sup>2</sup>, Цургаев А.В.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*АО НИИ КП, Москва; e-mail: g.a.protopopov@mail.ru*

<sup>2</sup>*Институт прикладной геофизики, Москва;  
e-mail: director@ipg.geospace.ru*

Космические аппараты разработки РФ (КА РФ) [1] функционируют на геостационарной орбите (ГСО) уже большую часть 24-го цикла и 25-й цикл солнечной активности, что делает их полезными инструментами для мониторинга космической погоды и климата, с учетом наличия зарубежных КА, например GOES, на аналогичной орбите.

В данном докладе приведены результаты бортовых измерений вариации потоков высокоэнергетических электронов на ГСО. В работы проведено сравнение с аналогичными данными GOES. Были проанализированы временные профили интегральных и дифференциальных потоков электронов в моменты резких возрастаний характеристик. Анализировались следующие бортовые измерения:

- суточные интегральные потоки электронов с энергией более 2 МэВ, пятиминутные потоки электронов в диапазонах энергий от 0.7 до 1 МэВ и от 1.9 до 3.2 МэВ по данным GOES;
- пятиминутные потоки электронов в диапазоне энергий от 3 до 6 МэВ по данным КА РФ.

Также использовались данные о Dst индексе. Наблюдается качественное соответствие данных отечественных и зарубежных КА на ГСО, что делает КА РФ на ГСО дополнительными отечественными инструментами для мониторинга космической погоды и климата.

[1] Anashin V.S., Protopopov G.A., Milovanov Y. A. // “Monitoring of space radiation in Russian federal space agency”, 12th European Conference on Radiation and Its Effects on Components and Systems, Sep. 2011.

## Влияние литосферной компоненты магнитного поля земли на траектории космических лучей

*Прошин С.А., Голубков В.С., Майоров А.Г., Малахов В.В.*

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,  
Москва; e-mail: sergey.proshin.97@mail.ru*

Одним из подходов при изучении астрофизических объектов и сред во Вселенной является измерение различных характеристик потоков космических лучей (КЛ). Поскольку многие эксперименты проводятся вблизи поверхности Земли, влияние ее магнитного поля на траектории частиц КЛ вносит определенный вклад и искажает первоначальные потоки.

Существуют разные эмпирические модели, описывающие магнитосферу Земли. Моделью внутренней магнитосферы в задачах физики космических лучей является, как правило, IGRF [1], которая призвана описывать только компоненту магнитного поля Земли, ответственную за, так называемое, «главное поле». Однако существуют и другие модели, описывающие поле более детально и включающие в себя другие дополнительные компоненты. Главной задачей настоящей работы является демонстрация влияния литосферной компоненты поля, представленной в модели CHAOS [2], на траектории трассируемых частиц КЛ.

В работе показано сравнение моделей IGRF (главное поле) и CHAOS (главное + литосферное поле) при анализе спектров мощности потока галактических космических лучей, достигающих разных высот над поверхностью Земли, сравнения вертикальной жесткости геомагнитного обреза, а также траекторий вторичной компоненты космических лучей в околоземном пространстве.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №19-72-10161, <https://rscf.ru/project/19-72-10161/>

[1] Alken P. et al. // Earth, Planets Space, 2021, v. 73, p. 49.

[2] Finlay C.C. et al. // Earth, Planets Space, 2020, v. 72, p. 156.

## Солнечная активность и факторы социального регулирования в развитии пандемии COVID-19

*Рагульская М.В.*

*ИЗМИРАН, Москва, Россия; e-mail: ra\_mary@mail.ru*

Космическая погода и солнечная активность (СА) влияют на мутации и изменчивость вирусов, а также повышают вариабельность и адаптационную устойчивость человеческой популяции. В максимуме СА существенным оказывается вклад вариаций геомагнитного поля, вариаций ультрафиолетового излучения Солнца и солнечных космических лучей, а в минимуме на роль основного регуляторного биотропного фактора претендуют галактические космические лучи. Пандемии происходят в экстремумах солнечной активности, в зависимости от соотношения фаз 11-летнего цикла и цикла Гляйсберга. Анализ динамики вирусных пандемий за последние 270 лет показывает, что в высоких циклах СА развитие пандемий характерно в максимумах 11-летнего цикла СА. При циклах СА с высотой около 100-110 среднегодовых чисел Вольфа развитие пандемий наблюдается как в максимумах, так и в минимумах 11-летнего цикла СА.

Текущая пандемия, начавшаяся одновременно в минимумах 11-летнего и квази-столетнего цикла, в 2020-2021 годах демонстрирует разницу в относительной смертности в различных странах более чем в 5-8 раз (против 2 раз при пандемиях обычного гриппа). По-видимому, существенное географическое различие локальных эпидемий характерно для пандемий глобального минимума солнечной активности. Соотношение заболеваемости и смертности в гаплогруппах R1b : R1a : N в первую и вторую волны коронавируса (до начала всеобщей вакцинации в декабре 2020 года) составляло примерно 7:2:1. Это же соотношение сохранилось в относительной заболеваемости COVID-19 в 3 и 4 волну коронавируса, вне зависимости от штамма коронавируса и процентного соотношения вакцинированного и не вакцинированного населения в различных странах [1]. Вакцинация существенно сказалась на динамике относительной смертности населения большинства европейских стран, значительно уменьшив ее в третью и последующие волны. Однако относительная смертность для регионов с преобладанием населения гаплогруппы N (Финляндия, северные районы России) напротив возросла в 1,5-2 раза. Массовая вакцинация сформировала автоволны заболеваемости коронавирусом вместо классических затухающих волн, а также сместила контингент заболевших с возрастного населения на детей и подростков. Эти процессы к 2022 году привели к уравниванию соотношения относительной смертности в различных гаплогруппах к стандартному коэффициенту «2», характерному для гриппа.

Таким образом, в условиях текущего глобального минимума СА развитие пандемии в основном определяется факторами космической пого-

ды и геногеографическим распределением населения, а не медицинскими или карантинными мерами. Их вклад составляет более 500% против 20-30%, приходящихся на остальные факторы (кроме вакцинации), таких как средний возраст населения, локдауны, изоляция заболевших, погодные условия и уровень медицины. Динамика солнечной активности и генетическая изменчивость людей повышают шансы на выживание человечества как биологического вида во время повторяющихся пандемий.

- [1] Ragulskaia M. Solar activity and COVID-19 pandemic // Open Astron. 2021; V 30, n. 1. P. 149–158 <https://doi.org/10.1515/astro-2021-0020>

**Сравнение влияния Галактических космических лучей  
и Полного потока солнечного излучения  
на явление Эль-Ниньо**

*Скажун А.А.<sup>1</sup>, Волобуев Д.М.<sup>2</sup>, Макаренко Н.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Независимая исследовательница, С.-Петербург;  
e-mail: a\_skakun@mail.ru*

<sup>2</sup> *ГАО РАН, С.-Петербург; e-mail: dmitry.volobuev@mail.ru*

В этой работе мы проанализировали влияние Галактических космических лучей (ГКЛ) и инсоляции, выраженной в солнечной постоянной (TSI), на земной климат, в частности, явление Эль-Ниньо. Инсоляция может воздействовать на температуру земной поверхности непосредственно с помощью физического механизма нагревания, в то время как ГКЛ — косвенно, через механизмы образования ядер конденсации в атмосфере, меняя ее прозрачность и облачность. Оба этих фактора изменяются в 11-летнем солнечном цикле, но энергетический вклад этих вариаций в климат очень мал. Детектирование их последствий в климате возможно, но является нетривиальной задачей.

Мы рассмотрели причинные связи между парами временных рядов TSI и Эль-Ниньо (климатический индекс Nino3.4), ГКЛ и Эль-Ниньо. Мы обнаружили, что эффект TSI на Эль-Ниньо сравнительно более выражен, что отчасти подтверждает выводы проекта CLOUD, выполненного в CERN, о пренебрежимой малости вклада ГКЛ в общие механизмы образования ядер конденсации и, как следствие, в изменения климата.

## Динамический хаос и происхождение вариаций солнечной активности

*Соколов Д.Д.<sup>1</sup>, Окатьев Р.С.<sup>2</sup>, Фрик П.Г.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> МГУ, Москва, ИЗМИРАН, Троицк; e-mail: sokoloff.dd@gmail.com

<sup>2</sup> Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь;  
e-mail: oketev.r@icmm.ru

<sup>3</sup> Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь;  
e-mail: frick@icmm.ru

Временной спектр солнечной активности, восстанавливаемый по различным источникам информации и, прежде всего, по солнечным пятнам, не сводится лишь к 11(22)-летнему циклу, а содержит вариации различных временных масштабов, сливающиеся в непрерывный спектр. Стандартная теория солнечного динамо концентрирует внимание на объяснении основного цикла солнечной активности, который она интерпретирует как проявление собственного решения, возникающего в уравнениях динамо среднего поля. Физическая природа механизмов, с которыми может быть связан непрерывный спектр вариаций солнечной активности, исследована гораздо меньше и здесь в принципе возможны различные варианты. В докладе рассматривается возможность объяснения непрерывного спектра солнечной активности как проявление динамического хаоса, возникающего в результате нелинейных эффектов в солнечном динамо.

## Бессиловой магнитный жгут в слабом поперечном поле

*Соловьев А.А.*

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН  
(Санкт-Петербург, Россия); e-mail: solov@gaoran.ru*

Исследовано еще одно новое бессилое решение для однородного в длину магнитного волокна круглого сечения, расположенного горизонтально в гидростатической солнечной атмосфере. Найдено распределение продольного поля в таком магнитном жгуте. Показано, что при падении внешнего магнитного давления до некоторого критического значения это поле обращается в нуль на той магнитной поверхности, где продольный электрический ток меняет знак.

Слабое внешнее поперечное поле приводит к малому отклонению от бессилой структуры поля и появлению дефицита плотности и росту температуры на оси жгута. Показаны возможности вспыхивающего выделения магнитной энергии при достижении в волокне критического значения плотности продольного электрического тока. Когда токовая скорость электронов превышает тепловую скорость ионов, в плазме возникает «аномальное сопротивление», вызванное развитием токовой ионно-звуковой неустойчивости. Оно оказывается на 7 порядков выше обычного кулоновского сопротивления. Электрическое поле, индуцированное падением напряженности магнитного поля при таком высоком сопротивлении плазмы, значительно превышает дрейсеровское значение и обеспечивает эффективное ускорение заряженных частиц (до сотни Мэв).

## Особенности джоулевой диссипации в атмосфере Солнца: роль нейтральной компоненты

*Зайцев В.В.<sup>1</sup>, Степанов А.В.<sup>2</sup>, Куприянова Е.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

<sup>2</sup>*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург; e-mail: astep44@mail.ru*

Исследованы особенности диссипация электрических токов в магнитных трубках на различных уровнях атмосферы Солнца, от фотосферы до короны. Генерация электрических токов обусловлена конвективными движениями в фотосферных основаниях трубок со скоростью  $V \approx 0,3$  км/с. Для выяснения относительной роли сопротивлений Каулинга и Спитцера в джоулевой диссипации привлечена модель атмосферы Avrett & Loeser [1] и, для сравнения, модель Vernazza et al. [2]. Показано, что роль ионно-атомных столкновений в диссипации тока и процессах нагрева плазмы является определяющей. В короне с относительной плотностью нейтральных атомов  $\sim 10^{-7}$  особенностью джоулевой диссипации является преобладание сопротивления Каулинга над классическим уже при токах  $I > 10^8$  А. Максимальный уровень диссипации соответствует области переходного слоя, что благоприятно для нагрева короны спикулами II типа. Роль сопротивления Каулинга в диссипации тока возрастает при филаментации магнитных трубок. Показано, что аномальное сопротивление даже при больших токах,  $I \sim 10^{12}$  А, не реализуется из-за малой скорости относительного движения электронов и ионов  $U \ll C_s$ , при которой не развивается мелкомасштабная турбулентность. Диссипация токов Холла в полутени солнечных пятен, обусловленных течением Эвершеда, может нагреть слой фотосферы и нижней хромосферы до температуры 7000–15000 К, что вызовет вспышку в белом свете. При этом в фотосфере на высоте менее 300 км преобладает классическое сопротивление (Спитцера). Получено условие нагрева фотосферной плазмы до температур, необходимых для нарастания континуума:  $B_z V \geq 100$  Гс км/с.

[1] Avrett E.H., Loeser R. // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 2008, v. 175, p. 229.

[2] Vernazza J.E. et al. // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 2008, v. 45, p. 635.

## Магнитная детонация и ускорение КВМ на примере события 13 декабря 2006 года

*Струминский А.Б.<sup>1</sup>, Григорьева И.Ю.<sup>2</sup>, Садовский А.М.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Институт космических исследований РАН, Москва;  
e-mail: astruminsky@gmail.com*

<sup>2</sup>*Главная астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург;  
e-mail: irina.2014.irina@mail.ru*

Детонация – самоподдерживающийся процесс распространения зоны химической реакции со сверхзвуковой скоростью за счет энергии, выделяющейся в химической реакции. Под магнитной детонацией мы понимаем процесс распространения множественного магнитного пересоединения со сверхзвуковой скоростью в эруптивных вспышках, приводящий к ускорению межпланетных корональных выбросов массы (КВМ) с предельными скоростями. Фактически, понятие магнитной детонации использовалось, например, [1] для определения скорости стационарной ударной волны при выходе сильного магнитного поля в корону.

Здесь мы рассматриваем процесс магнитной детонации и ускорения КВМ на примере вспышки X3.4 13 декабря 2013 года. Выбор этого события обусловлен тем, что процесс эрупции в этом событии уже хорошо изучен другими авторами ([2], [3], [4]) и можно сравнить наши оценки с проверенными наблюдениями.

Регистрация радиоизлучения на частотах ниже 2ГГц, на которых тепловое и плазменное излучение преобладают над гиротронным, позволяет делать верхние оценки характерного линейного размера источника мягкого рентгеновского (SXR) излучения в предположении, что его плотность определяется плазменной частотой. Мы считаем, что SXR источник с большей плотностью и меньшими линейными размерами находится внутри радиоисточника. Из наблюдений SXR излучения (GOES) вычисляется температура и мера эмиссии. Из меры эмиссии находится характерный линейный размер источника, считая, что он – полусфера с известной концентрацией плазмы. Скорость расширения SXR источника будет производной по времени от его характерного размера. Рассчитанная таким образом скорость расширения SXR источника во вспышке X3.4 13 декабря 2006 года достигает сверхзвуковых и сверхалфвеновских скоростей только, если плазменная частота в SXR источнике была меньше 245 МГц. При этом, размер SXR источника примерно соответствует ожидаемым положениям КВМ при его равномерном ускорении из положения 1.1-1.25 радиуса Солнца в момент начала роста меры эмиссии. Сделаны оценки необходимого магнитного поля на разных высотах в короне для такого ускорения.

- [1] Леденев В.Г. // *Австрон. Ж.*, 1980, т. 37, p. 113.
- [2] Asai A., Hara H., Watanabe T., et al. // *Astrophys. J.*, 2008, v. 685, p. 622.
- [3] Sterling A.C., Moore R.L., Harra L.K. // *Astrophys. J.*, 2011, v. 743, p. 63.
- [4] Grechnev V.V., Kisilev V.I., Uralov A.M., et al. // *PASJ*, 2013, v. 65, p. S9.

**Долготное распределение активных областей  
в максимуме 23 солнечного цикла**

*Сулейманова Р.А., Абраменко В.И.*

*КрАО РАН, Научный; e-mail: bictr97@gmail.com*

Поведение потоков активных областей (АО) разных классов в солнечном цикле различно: регулярные АО (классы А1, А2) лучше описывают общий ход цикла, а нерегулярные АО (классы В1, В2, В3) определяют тонкую структуру в максимумах циклов. В данной работе мы постарались выяснить, чем обусловлено различное поведение потоков регулярных и нерегулярных областей в максимуме 23 солнечного цикла. Для этого было исследовано долготное распределение АО. Установлено, что регулярные АО распределены по долготам более равномерно, чем нерегулярные. АО классов В1, В2, В3 больше всего наблюдаются на керрингтоновских долготах  $200^\circ - 240^\circ$  и  $280^\circ - 320^\circ$ . Также было замечено, что по количеству АО классов В2 и В3 меньше, чем АО классов А1 и А2, тем не менее, суммарные потоки регулярных и нерегулярных АО примерно одинаковы. Таким образом, можно предположить, что нерегулярные АО тяготеют к появлению на особых керрингтоновских долготах (на активных долготах).

## Время жизни солнечных пор и пятен

Тлатов А.Г.<sup>1</sup>, Тлатова К.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Горная астрономическая станция ГАО, Кисловодск  
e-mail: tlatov@mail.ru

<sup>2</sup>Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь;  
e-mail: k.tlatova@mail.ru

Выполнен анализ времени жизни отдельных солнечных пор и пятен солнечных пятен по данным наблюдений космической обсерватории НМИ/SDO в 24 и 25-м циклах активности. Границы солнечных пятен и пор выделялись на изображениях в континууме. Отслеживание пятен происходило при идентификации отдельных пятен и пор на различных изображениях во времени. Обработывались пять изображений в день на моменты времени 00:00; 05:00; 10:00; 15:00; 20:00 UT. Для более точной идентификации солнечных пятен границы пятен совмещались с магнитограммами. Таким образом, были сформированы цепочки отдельных солнечных пятен и пор во времени, по которым выполнялся анализ эволюции и времени жизни.

Получено, что время жизни отдельных пятен и пор значительно отличается от правила Гневьева–Вальдмайера  $T_{gr} \approx W \cdot A$ , сформулированного для групп солнечных пятен. Зависимость времени жизни носит различную закономерность для пор  $T_{por} = 0.31(0.02) + 2.61(0.03) \cdot \lg(S_{mx})$  для  $S_{mx} < 50 \mu\text{hm}$  и регулярных солнечных пятен  $T_{spot} = -10.941(1.36) + 9.5(0.73) \cdot \lg(S_{mx})$  для  $S_{mx} > 50 \mu\text{hm}$ . Для больших солнечных пятен, площадью более  $S > 400 \mu\text{hm}$  и временем жизни более  $0.5 \cdot T_{rot}$  зависимость времени жизни от площади становится близкой к линейной.

Время жизни солнечных пятен ведущей (leading) и хвостовой (trailing) полярности одной площади различаются  $T_{trail} < T_{led}$ . Возможно, это происходит вследствие воздействия дифференциального вращения на скрученную силовую трубку магнитного поля. При этом происходит скручивание магнитного поля ведущей полярности и раскручивание силовых линий пятен хвостовой полярностей.

## Изучение эффект Вильсона методом усреднения профиля солнечных пятен.

*Тлатова К.А., Тлатов А.Г.*

*Горная астрономическая станция ГАО, Кисловодск;  
e-mail: k.tlatova@mail.ru*

В солнечных пятнах, расположенных на краю солнечного диска, видимая ширина полутени на стороне, расположенной дальше от лимба меньше, чем на стороне, обращенной к лимбу (эффект Вильсона). Этот эффект можно объяснить с помощью модели пятна, в которой уровень тени лежит ниже соответствующего уровня в окружающей фотосфере. Впадина Вильсона составляет примерно 700-1000 км и представляет собой разность геометрической высоты единицы оптической толщины континуума между тенью пятен и спокойным Солнцем. Измерение депрессии Вильсона важно для понимания геометрии солнечных пятен. Современные методы измерения депрессии Вильсона страдают от систематических эффектов или нуждаются в предположениях о геометрии магнитного поля.

Наш метод основан на создании средних профилей солнечных пятен, полученных при обработке длительных рядов наблюдений в белом свете. Нами выполнен анализ формы солнечных пятен по данным наблюдений космической обсерватории HMI/SDO в 24 и 25-м циклах активности. Границы солнечных пятен и пор выделялись на изображениях в континууме. Обрабатывались пять изображений в день на моменты времени 00:00; 05:00; 10:00; 15:00; 20:00 UT. Для изучения связи эффекта Вильсона от магнитного поля границы пятен совмещались с магнитограммами. Выполнен анализ пятен различных площадей и магнитной полярности.

**Наблюдение солнечного затмения 10.06.2021 г.  
на радиометре водяного пара ИПА РАН**

*Ильин Г.Н.<sup>1</sup>, Быков В.Ю.<sup>1</sup>, Топчило Н.А.<sup>2</sup>, Петерова Н.Г.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ИПА РАН, С.-Петербург, Россия; e-mail: igen@iaaras.ru

<sup>2</sup>СПбГУ, С.-Петербург, Россия; e-mail: topchilona@yandex.ru

<sup>3</sup>САО РАН, С.-Петербург, Россия; e-mail: peterova@yandex.ru

Приведены результаты наблюдений солнечного затмения 10.06.2021 г., выполненных в обсерватории «Светлое» впервые совместно с помощью радиометра водяного пара (РВП) и радиотелескопов РТ-13 и РТ-32. Затменные кривые, полученные на рабочих частотах РВП 20.7 ГГц и 31.4 ГГц, сопоставленные с кривой покрытия Луной диска Солнца, показали их хорошее согласие. В предположении о равномерном распределении радиояркости по диску Солнца, с высокой точностью определена средняя величина его яркостной температуры  $T_v(f)$  по известной формуле:  $T_v = T_a \cdot \frac{\Omega_{\text{ант}}}{\Omega_{\text{ист}}}$ , где  $T_v$  и  $T_a$  – яркостная и антенная температура источника (Солнца),  $\Omega$  – телесные углы, занимаемые диаграммой (ДН) антенны и источником. При ширине ДН РВП  $\approx 6^\circ$  расчеты показали, что  $T_v(20.7) = 9060 \pm 380$  К,  $T_v(31.4) = 8050 \pm 300$  К.

Полученные значения согласуются с нижней оценкой яркостной температуры Солнца по литературным данным. Сделан вывод, что величина яркостной температуры Солнца в диапазоне частот (20.7-31.4) ГГц остается неизменной и в период глубокого минимума 11-летнего цикла солнечной активности. Поэтому говорить о радикальных изменениях радиоизлучения Солнца на этапе 25-го цикла преждевременно. Показана целесообразность использования измерений на РВП, относящегося к разряду малых радиотелескопов, в сочетании с параллельными наблюдениями на крупных зеркалах. Отмечено, что в отличие от наших оценок (на частотах 20.7 и 31.4 ГГц) в последнее время появляются наблюдения, показывающие существенно более высокие значения яркостной температуры:  $9950 \pm 334$  К на 22.235 ГГц,  $10351 \pm 370$  К на 26.235 ГГц и  $9217 \pm 375$  К на 30.000 ГГц близкие к верхней границе разброса данных. Частично наблюдаемый разброс может быть связан с фазой солнечного цикла, как это происходит на длинных волнах, но очевидно, что это не единственная причина разброса, и требуется продолжение этих исследований.

**Ускорение нетепловых электронов  
при их согласованном взаимодействии  
с турбулентностью вистлеров во вспышечной петле**

***Филатов Л.В.<sup>1</sup>, Мельников В.Ф.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*ФГБОУ Нижегородский архитектурно-строительный  
университет, Нижний Новгород; e-mail: filatovlv@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,  
Санкт-Петербург; e-mail: v.melnikov@gaoran.ru*

Вистлеры (свисты) могут играть важную роль в кинетике нетепловых электронов во вспышечных петлях. Это относится как к процессам рассеяния электронов по питч-углам, так и к процессам их стохастического ускорения на турбулентности вистлеров. В работе (Filatov & Melnikov, Ge&Ae 2022) мы рассмотрели задачу о доускорении электронов при их резонансном взаимодействии с вистлерами, однако спектр турбулентности при этом был задан и неизменен во времени. Источником такой турбулентности могут быть возмущения магнитного поля петли, возникающие при первичном нестационарном энерговыделении. Естественный вопрос об изменении спектра благодаря генерации или затуханию вистлеров при их взаимодействии с электронами не рассматривался. Однако, очевидно, что динамика спектра турбулентности имеет первостепенное значение для рассеяния и ускорения электронов в петле. В настоящей работе рассматривается согласованная задача о взаимодействии вистлеров и энергичных электронов. Это позволяет рассмотреть не только процессы рассеяния и ускорения электронов на турбулентности, но и процесс генерации самой вистлеровской турбулентности в различных частях вспышечной петли. Рассмотрение проведено в рамках модели неоднородной магнитной ловушки с заданной импульсной инъекцией нетепловых электронов и некоторым начальным уровнем турбулентности. Исследована динамика распределений электронов в петле по энергиям и питч-углам на фазах роста и спада вспышечного процесса. Особое внимание уделено эффектам стохастического доускорения инжектированных нетепловых электронов и соответствующей деформации энергетического спектра электронов.

**Экстремумы летней инсоляции Земли в северном  
полушарии и глобальные климатические  
события голоцена**

**Фёдоров В.М.**

*Московский государственный университет имени М.В.  
Ломоносова, Москва; e-mail: fedorov.msu@mail.ru*

Выполнены расчеты летней в полушариях инсоляции на 12000 лет в прошлое по высокоточным астрономическим эфемеридам DE-441 [1]. Определена синхронность максимума летней инсоляции северного полушария и глобального климатического события – перехода от холодной плейстоценовой к теплой голоценовой эпохе, а также синхронность минимума летней инсоляции северного полушария и Малого ледникового периода. Продолжительность ветви спада летней инсоляции составляет около 10000 лет, в течение которых летняя инсоляция в северном полушарии от абсолютного максимума до абсолютного минимума сокращается на  $22,4 \text{ Вт/м}^2$ . Изменение летней инсоляции южного полушария в течение голоцена происходит асинхронно с изменением летней инсоляции северного полушария (коэффициент корреляции равен  $-0,997$ ).

Синхронизация таких климатических событий голоцена как переход от холодной плейстоценовой эпохи к теплой голоценовой и Малый ледниковый период с экстремумами летней инсоляции в северном полушарии, указывает на то, что летнее облучение северного полушария может быть причиной отмеченных событий, а преимущественной областью их возникновения и развития является северное полушарие Земли.

- [1] Fedorov V.M., Kostin A.A. The Calculation of the Earth's insolation for the 3000 BC – AD 2999 // Processes in GeoMedia, 2020. V. I. Pp. 181–192. DOI: 10.1007/978-3-030-38177-6\_20.

## Особенности транзитного облучения окружающего Землю пространства

*Фёдоров В.М.<sup>1</sup>, Фролов Д.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Московский государственный университет имени М.В.  
Ломоносова, Москва; e-mail: fedorov.msu@mail.ru*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет имени М.В.  
Ломоносова, Москва; e-mail: denisfrolov@mail.ru*

Рассматривается облучение поверхностей высотных уровней (эллипсоидов) от верхней тропосферы до нижней мезосферы [1]. Энергетические характеристики (Дж) вычислены во всех годах, удельные энергетические характеристики (Дж/м<sup>2</sup>) – средние многолетние и в отдельных годах. Для каждой пары (широтная зона, часть тропического года) вычислены удельная входящая (через эту зону в тело, ограниченное поверхностью) транзитная энергия, удельная выходящая (из тела, ограниченного поверхностью) транзитная энергия и их разность (баланс).

Определено, что для целой поверхности баланс за любой промежуток времени равен нулю (при отсутствии атмосферы), для полушарий и 5-градусной широтной зоны при наличии транзитного облучения баланс отличен от нуля. На поверхностях всех высотных уровней наиболее значительный разброс между балансами для 5-градусных зон отмечается среди полугодовых балансов в полярных районах. Для 5-градусных зон каждого полушария от экватора к полюсу в летнем полугодии полугодовой баланс до 65-й параллели отрицателен, затем положителен, в зимнем полугодии наоборот. Летний баланс полушарий положителен, зимний отрицателен на всех высотных уровнях.

- [1] Fedorov V.M., Kostin A.A., Frolov D.M. Peculiarities of transit irradiation of the surrounding the Earth space // Cosmic Research, 2022. V. 60. № 2. Pp. 89-97 DOI: <https://link.springer.com/article/10.1134/S0010952522020034>

## Крупномасштабные электрические токи в процессах нагрева короны Солнца

*Фурсяк Ю.А.*

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, 298409, п.Научный,  
Республика Крым, Россия; e-mail: yuriy\_fursyak@mail.ru*

Одним из нерешенных, и в то же время крайне важных вопросов современной физики Солнца является проблема нагрева короны Солнца. Разными исследователями и исследовательскими группами рассматривается целый ряд возможных механизмов нагрева коронального вещества, одним из которых является омическая диссипация электрических токов.

В недавнем исследовании нами обнаружены крупномасштабные электрические токи, которые, как предполагается, уходят во внешние слои солнечной атмосферы. Показано, что они связаны со вспышками. В то же время, они могут играть и определенную роль в нагреве короны, поскольку во вспышках реализуется лишь несколько процентов энергии, запасенной в электрических токах.

Для изучения связи крупномасштабных электрических токов с процессами нагрева коронального вещества, нами использованы данные двух инструментов на борту космического аппарата Solar Dynamics Observatory (SDO) — Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) и Atmospheric Imaging Assembly (AIA). Данные HMI/SDO о пространственном распределении компонент вектора магнитного поля на уровне солнечной атмосферы использованы для вычисления крупномасштабного электрического тока. Данные инструмента AIA/SDO об интенсивности ультрафиолетового излучения в каналах 94, 131, 171 и 211 Å применены для вычисления температуры в короне.

В ходе исследования изучены 16 активных областей (АО) с разным уровнем вспышечной продуктивности. В каждом случае получены карты пространственного распределения температуры в короне над АО. Временные вариации температуры сопоставлены с динамикой крупномасштабного электрического тока. Сделаны выводы о роли крупномасштабных электрических токов в процессах нагрева коронального вещества.

## Магнитосферная аккреция на Ae/Be звезды Хербига и звезды Т Тау

*Рыспаева Е.<sup>1</sup>, Холтыгин А.<sup>2</sup>, Лютиков М.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт. Научный, Крым, Россия e-mail: e.ryspaeva@yandex.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург; e-mail: afkholttygin@gmail.com

<sup>3</sup>Purdue University, West Lafayette, USA; e-mail: lyutikov@purdue.edu

Выполнен анализ архивных рентгеновских наблюдений 17 магнитных звезд Ae/Be Хербига, выполненных на спутниках «ХММ-Newton» и «Chandra». Рентгеновские спектры звезд в диапазоне энергий 0.2-8 кэВ аппроксимировались тепловыми моделями излучения горячего газа, в котором атомы ионизируются электронным ударом. Для поиска возможного вклада нетеплового рентгеновского излучения в модельный спектр добавлялась степенная компонента. Показано, что рентгеновские спектры звезд Хербига могут быть описаны в модели магнитосферной аккреции, разработанной для звезд типа Т Тау [1]. Полная рентгеновская светимость  $L_X$  звезд Хербига оказалась пропорциональной квадрату массы звезды, что характерно для звезд типа Т Тау, но с меньшим на пол порядка коэффициентом пропорциональности и пропорциональной кубу радиуса звезды. Вычисленные в рамках теории магнитосферной аккреции магнитные потоки и магнитные моменты Ae/Be звезд Хербига оказались близки к этим же величинам, но оцененным по измеренным напряженностям их магнитных полей. Сделан вывод, что, как и для звезд Т Тау, доминирующим процессом формирования рентгеновского излучения магнитных Ae/Be звезд Хербига является взаимодействие их магнитных полей с замороженными магнитными полями околосветельных дисков.

[1] Koenigl, A. J. // *Astrophys. J.*, 1991, v. 370, p. L39.

**О связи солнечных космических лучей  
с радиовсплесками II типа**

Цап Ю.Т.<sup>1</sup>, Исаева Е.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Крымская астрофизическая обсерватория Российской академии наук, Научный; e-mail: yur\_cao@mail.ru*

<sup>2</sup>*Радиоастрономический институт НАН Украины, Харьков; e-mail: isaeva-ln@mail.ru*

На основе оригинальных данных исследована связь между интенсивностями солнечных космических лучей (протонов)  $I_p$  с энергией  $E_p \geq 1$  МэВ (GOES) и радиовсплесками II типа в диапазоне 25 – 180 МГц  $I_i$  (SRS RSTN) для 112 протонных событий за период с 24.11.2000 по 20.12.2014 гг. Обнаружена зависимость между  $I_p$  и  $I_i$  с коэффициентом корреляции  $r \approx 0.81$ . Это предполагает, что нетепловые электроны, ответственные за радиовсплески II типа, и солнечные космические лучи генерируются одними и теми же ударными волнами. Коэффициент корреляции между интенсивностями  $I_p$  и  $I_i$  достигает максимума для протонов с энергией  $E_p = 30 - 100$  МэВ, тогда как при  $E_p \gtrsim 100$  МэВ она резко уменьшается, т.е. ускорение релятивистских протонов с  $E_p \gtrsim 100$  МэВ скорее определяется нетепловыми процессами в области вспышечного энерговыделения, что хорошо согласуется с выводами работы [1].

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ и GACR (No. 20-52-26006), РНФ (No. 22-12-00308) и Минобрнауки (НИР No. 1021051101548-7-1.3.8).

[1] Kiselev V.I., Meshalkina N.S., Grechnev V.V. // Solar Phys., 2022, v. 297, id. 53.

## Субтерагерцовое излучение вспыхивающих звезд

Цап Ю.Т.<sup>1</sup>, Степанов А.В.<sup>2</sup>, Копылова Ю.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Крымская астрофизическая обсерватория Российской академии наук, Научный; e-mail: yur\_crao@mail.ru*

<sup>2</sup>*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук, С.-Петербург; e-mail: stepanov@gao.spb.ru*

По имеющимся литературным данным проведен сравнительный анализ особенностей вспышечного излучения красных карликовых звезд в различных диапазонах длин волн. Согласно наблюдениям на ALMA, субтерагерцовое излучение звезд на порядок превосходит типичные значения, наблюдаемые на Солнце, имеет спадающий с увеличением частоты спектральный поток и обладает сравнительно высокой степенью круговой поляризации. Это свидетельствует о его синхротронной природе и эффективном ускорении электронов, достигающих ультрарелятивистских энергий. Обсуждается возможная причина слабой связи между радио-, оптическим и рентгеновским излучением звездных вспышек.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ и GACR (No. 20-52-26006), РНФ (No. 22-12-0030) и Минобрнауки (НИР No. 1021051101548-7-1.3.8).

**Корональные источники жесткого рентгеновского  
излучения в моделях солнечных вспышек  
с вертикальным токовым слоем:  
наблюдения и моделирование**

***Шабалин А.Н., Овчинникова Е.П., Чариков Ю.Е.***

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург;  
e-mail: shabalin.fti@yandex.ru*

В атмосфере Солнца, в активных областях, возможны конфигурации магнитных полей с вертикальным токовым слоем. Релаксация первоначально вытянутой в направлении токового слоя шлемовидной магнитной структуры к замкнутой структуре сопровождается продольно поперечным сокращением магнитной петли, что, в свою очередь, приводит к бетатронному и ускорению Ферми первого рода. В работе проведен анализ наблюдательных проявлений эволюции подобной конфигурации магнитных полей во время предвспышечной и начальной фазы солнечных вспышек в жестком рентгеновском диапазоне энергий. В солнечных вспышках SOL2013-05-13T02:12 (X1.7), SOL2013-05-13T16:04 (X2.8), SOL2013-05-15T01:43 (X1.2) в активной области 11748 показано: отсутствие увеличения высоты коронального рентгеновского источника над лимбом на начальной стадии вспышки, отрицательная корреляция размера локального источника и рентгеновского потока во вспышке, разделение центроидов локальных источников в разных диапазонах энергий, высокая яркость коронального источника на ранней стадии вспышки. Также проведен анализ эффективности вторичного доускорения электронов от энергий порядка 100 кэВ (первичное ускорение в токовом слое) до МэВных энергий в результате Ферми и бетатронного механизмов ускорения. С этой целью было численно решено нестационарное релятивистское кинетическое уравнение для функции распределения ускоренных электронов в плазме и магнитном поле, характеристики которых меняются во времени в результате процесса релаксации магнитных структур. Результаты расчетов показывают, что дополнительное ускорение, возникающее при релаксации магнитного поля, увеличивает долю высокоэнергичных электронов на 1-3 порядка.

**Первые результаты анализа серии всплесков на частоте  
161 МГц 21-23 мая 2021**

***Шамсутдинова Ю.Н., Сетов А.Г., Жданов Д.А.,  
Кашапова Л.К.***

*ИСЗФ СО РАН, Иркутск; e-mail: yulia@iszf.irk.ru*

Мы представляем предварительные результаты исследования источников всплесков в метровом диапазоне, зарегистрированных Иркутским радаром некогерентного рассеивания на частоте 161 МГц в период с 22 по 23 мая 2021 года. Сравнение с динамическими спектрами, полученными приборами сети e-Callisto, подтвердило солнечную природу событий и позволило определить к какому типу радиовсплесков в метровом диапазоне они относятся. Всего три из более чем 60 событий являлись радиовсплесками II типа и были связаны с корональными выбросами массы. Остальные события, зафиксированные на частоте 161 МГц, были радиовсплесками III типа. Анализ изображений в вакуумном ультрафиолете (ВУФ) по данным SDO/AIA показал, что все эти события связаны с активной областью NOAA 12824.

Часть событий имела отклик в микроволновом диапазоне по наблюдениям Сибирского радиогелиографа и Бадарского широкополосного микроволнового спектрополяриметра. Обнаружена связь между всплесками III типа и джетами, наблюдаемыми в ВУФ. Обсуждается связь между всплесками в метровом диапазоне, микроволновыми источниками и эруптивными явлениями (джетами).

## **Анализ данных мониторинга солнечного излучения в диапазонах UVB-UVA (Арктика-Антарктида)**

*Шаповалов С.Н.*

*ФГБУ «ГНЦ РФ Арктический и антарктический НИИ», Россия,  
Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38; e-mail: shapovalov@aari.ru*

Поступающая к Земле энергия от активных областей на Солнце приводит к расширению и сжатию термосферы. Такая выраженная зависимость магнитосферы и термосферы Земли проявляется и в области UV спектрального солнечного излучения, оказывая воздействие на концентрацию частиц воздуха в мезопаузе, верхней мезосфере, а также на фотохимические реакции в средней и нижней атмосфере с участием образования озона (O<sub>3</sub>). Данный вопрос является частью Программы мониторинга UVB(280–315nm)–UVA(315–400nm) в высокоширотной Арктической Зоне РФ и на ст. Новолазаревская (Антарктида) на период 25 цикла солнечной активности. Измерения проводятся с помощью оптоволоконных спектрометров AvaSpec-2048. Так как свойства приземной атмосферы в высоких широтах Арктики значительно отличаются от свойств нижней атмосферы в Антарктиде (содержание аэрозолей, влажность, радиационный баланс, поглощение, оптические характеристики и др.), задача первого этапа наблюдений состояла в методическом согласовании наблюдений. Первым оценочным показателем является анализ спектров зенита атмосферы. В результате анализа данных за период 2019 г.–2021 г. установлено согласование спектров в контрольные даты мониторинга — даты равноденствия 21.03. Спектры имеют закономерную структуру для зенита и функционально согласуются. Предел «левой границы» окна NUV297–330 nm в Арктике находится на линии  $\lambda$  305 nm, что значительно отличается от границы этого же диапазона в Антарктиде ( $\lambda$  295 nm), где содержание аэрозолей значительно ниже.

**Исследование событий, предшествующих вспышкам,  
связанным с GLE69, GLE70, GLE71 и GLE72 в мягком  
рентгене и радиоизлучении**

***Шаховская А.Н.<sup>1</sup>, Григорьева И.Ю.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Крымская Астрофизическая Обсерватория, Республика Крым,  
пгт.Научный; e-mail: anshakh@yandex.ru*

<sup>2</sup>*Главная Астрофизическая Обсерватория, Пулковско,  
Санкт-Петербург; e-mail: irinaga@yandex.ru*

Исследуется недельная ретроспектива теплового (GOES, SXR-) и нетеплового (RSTN, M(DM)W-) излучения на примере четырех солнечных вспышек (X7.1, X3.4, M5.7 и X8.2), связанных с быстрыми массивными КВМ с регистрацией GLE69 (20 января 2005 года), GLE70 (13 декабря 2006 года), GLE71 (17 мая 2012 года) и GLE72 (10 сентября 2017 года). В контексте идеи заблаговременной подготовки (накопления свободной энергии в активной области) представлены гистограммы: количество радиовсплесков, вспышек SXR. и максимальный поток (с.е.п.)/RSTN-частота за неделю в активных областях до родительских вспышек событий GLE69, GLE70, GLE71 и GLE72. Информация взята из ежедневных отчетов службы центра предсказания космической погоды (Dept. of Commerce, NOAA, Space Environment Center, USA)

**Параметризация ветви роста солнечных циклов  
без «квазидвухлеток»**

*Шибает И.Г.*

*Институт солнечной физики, Москва; e-mail: ivanov@mail.ru*

*ИЗМИРАН; e-mail: ishib@izmiran.ru*

Большинству солнечных циклов, сформированных из усредненного по 13 месяцам ряда среднемесячных чисел Вольфа  $W$ , присуще несколько локальных максимумов и различная гладкость ветвей роста и спада. Это усложняет определение характеристик циклов необходимых для задач прогнозирования или реконструкции. Ранее отмечалось [1, 2], что при удалении из ряда  $W$  “квазидвухлеток” и более высокочастотных компонент ( $W=>P13$ ), мы переходим к сглаженным, одновершинным циклам с сохранением их «энергетики» и с небольшой вариацией, в ряде случаев, табличных значений максимума  $W_m$ , длительностей цикла  $T_c$  и его ветви роста  $T_m$ .

В данной работе, для достоверных циклов в представлении P13, предложена единая аппроксимация ветвей роста, коэффициенты которой зависят от параметров цикла. Это способствует созданию обобщённого портрета цикла CA и устойчивых признаков его проявления.

Стоит отметить, что предложенный шаблон дает хорошее качественное и полу-количественное описание и для циклов в  $W$  представлении.

- [1] Шибает И.Г. Оценка восстановленной части ряда чисел Вольфа и возможность её коррекции // *Астрономический вестник*, 2008, Т. 42, № 1. С. 66-74.
- [2] Shibaev I., Ishkov V. Investigation of the statistical characteristics of Wolf numbers reliable series: Signs of solar cycles likelihood // *Proceedings of Seventh Scientific Conference with International Participation SES 2011*, Sofia, Bulgaria, 29 November – 01 December 2011, p. 297–301, 2012.

## Дисперсия медленных магнитозвуковых волн в корональной плазме

*Шивидов Н.К.<sup>1</sup>, Гага Варун Е.<sup>2</sup>, Михалеев Б.Б.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Калмыцкий государственный университет, Элиста;  
e-mail: bbtikh@mail.ru*

<sup>2</sup> *Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз*

Известно, что распространение волны в среде с поглощением приводит не только к ее затуханию, но и к дисперсии [1]. Это эффект отмечен применительно к магнитозвуковым волнам в солнечной короне из-за так называемого нарушения баланса между нагревом и радиационными потерями [2]. Очевидно, аналогичный эффект следует ожидать и вследствие поглощения волн из-за влияния теплопроводности [3]. В литературе широко обсуждается затухание магнитозвуковых волн из-за теплопроводности и излучения корональной плазмы, при этом большое внимание уделяется свойствам функции нагрева/потерь [4].

В настоящей работе мы преследуем цель изучить второе следствие эффекта поглощения, а именно дисперсию волны. Мы ограничиваемся случаем медленных магнитозвуковых волн по двум причинам, первая — здесь эффект проявляется ярче всего, вторая — наличие значительного количества наблюдений волн в нижней короне, которые интерпретируются как медленные волны. Как правило, спектр наблюдаемых колебаний довольно широк, и, на наш взгляд, здесь может иметь место дисперсия волновых пакетов, приводящая к появлению квазипериодических колебаний.

- [1] Гинзбург В.Л. // Акуст. журн., 1955, т. 1, вып. 1, с. 31.
- [2] Belov S.A., Molevich N.E., Zavershinskii D.L. // Solar Phys., 2021, v. 296, p. 122.
- [3] Дергеев С.Б., Шивидов Н.К., Гагаев Б.С., Михалеев Б.Б. / XXVI Всероссийск. ежегод. конф. по физике Солнца "Солнечная и солнечно-земная физика — 2022". Тезисы. В этом сборнике.
- [4] Kolotkov D.Y., Nakariakov V.M., Zavershinskii D.I. // Astron. Astrophys., 2019, v. 628, p. A133.

**Оценка транзитной скорости и времени  
распространения корональных выбросов массы  
по солнечным данным**

***Шлык Н.С., Белов А.В., Абунина М.А., Абунин А.А.***

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения  
радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Москва, Троцк;  
e-mail: nshlyk@izmiran.ru*

Исследуется изменение скорости корональных выбросов массы (КВМ) с учетом начальной скорости родительского КВМ и гелиодолготы ассоциированной вспышки за 1995-2020 гг. Установлено, что скорость и время распространения зависят не только от начальной скорости КВМ, но и от положения солнечного источника. Получены долготные зависимости ожидаемых транзитных величин для различных начальных скоростей КВМ на основе выборки из 288 КВМ, связанных с солнечными вспышками. Создана модель для оценки транзитной и максимальной скоростей, а также времени прихода межпланетного возмущения к Земле, основанная на данных о начальной скорости КВМ и долготе его солнечного источника. Показано, что учет долготы солнечных источников значительно улучшает качество модели, особенно для событий в центральной части солнечного диска (E10-W10).

**Поиск малоамплитудных периодических изменений  
блеска у звезды HD 168443 с планетной системой**

***Шляпников А.А., Бондарь Н.И.***

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный;  
e-mail: otbn@mail.ru*

Звезда HD168443 спектрального класса G5–G6, имеющая массу  $0.995 M_{\odot}$  и радиус  $1.51 R_{\odot}$ , находится на расстоянии 37 пк от Солнца. Она известна тем, что в ее окрестности обнаружены две экзопланеты с массами 7.8 и 17.5 масс Юпитера. Многолетние исследования кальциевой эмиссии не показали заметных изменений, а значение  $\log R'_{HK} = -5.088$  соответствует низкой хромосферной активности звезды. В настоящей работе мы рассматриваем ряды наземных и космических фотометрических наблюдений для анализа характера переменности блеска звезды на короткой и длинной временной шкале с целью изучения ее фотосферной активности. Временные ряды получены по данным из обзоров ASAS, ASAS-SN и KWS, и миссии *Hipparcos*. Обсуждаются полученные результаты по каждому из обзоров. Все полученные за 30 лет наблюдения (с 1990 г. по 2020 г.) подтверждают отсутствие систематических изменений среднего блеска звезды, но отмечены случаи его понижения в 1992 г. по данным *Hipparcos* на  $0.06^m$  и в 2017 г. на  $0.02^m$  по данным KWS. Согласно показателю цвета  $V - I_c$  такие изменения вызваны увеличением площади холодных пятен на поверхности звезды. Выделены также годы с малоамплитудной модуляцией блеска, что позволило получить оценки периода вращения 27–29 дней по данным ASAS-SN, по данным ASAS и KWS – 34–36 дней. Если период вращения близок к 27 дням, то он согласуется с малоамплитудным изменением блеска с  $P = 1152.6$  дня, найденным по данным *Hipparcos*, т.е. может соответствовать циклу активности близкому к 3-м годам. Учитывая, что используемые данные получены на астрографах с низким угловым разрешением, приводится информация об объектах окрестности в радиусе 10 угловых секунд.

**Звёзды с экзопланетами в новом каталоге  
«Звёзд с активностью солнечного типа»**

***Шляпников А. А.***

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН», п. Научный;  
e-mail: aas@craocrimea.ru*

Новый каталог «Звёзд с активностью солнечного типа» включает 314618 объектов. Он является компилятивным и содержит информацию об астрометрических и физических параметрах звёзд. Каталог доступен по ссылке <http://craocrimea.ru/aas/CATALOGUES/CSAST/CSAST.html>. В докладе представлена информация о распределении числа звёзд с подтверждёнными и заподозренными экзопланетами в зависимости от их блеска, спектрального типа, амплитуды переменности (если таковая имеется), а также другие статистические данные. Наличие рентгеновского и радиоизлучения, если таковые имеются, должно способствовать пониманию возможности существования «жизни» в обитаемой зоне. Вспышечная активность этих звёзд также накладывает определённые ограничения на условия развития жизни. С другой стороны, периоды обращения экзопланет вокруг звёзд, и связанные с ними изменения блеска, пусть и незначительные, влияют на общую кривую блеска звезды и поэтому должны быть учтены при анализе её собственного вращения и поиске возможной циклической активности. Все рассмотренные выше примеры статистического анализа проиллюстрированы в докладе.

## Метод оценки эффективной энергии нейтронных мониторов на основе 27-дневных вариаций ГКЛ

*Сирук С.А., Юлбарисов Р.Ф., Майоров А.Г.*

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
Москва; e-mail: RFYulbarisov@mephi.ru*

Всемирная сеть нейтронных мониторов (НМ) на протяжении более чем 50 лет обеспечивает стабильные непрерывные данные о потоке галактических космических лучей. При этом НМ является интегральным прибором, регистрирующим все космические лучи с энергией выше определенного порога (жесткости геомагнитного обрезания), а его функция отклика сильно зависит от энергии. Поэтому неясно, какова эффективная энергия космических лучей, измеренных нейтронными мониторами.

В работе восстанавливается энергетическая зависимость амплитуды 27-дневных вариаций потоков галактических протонов до энергии 40 ГэВ по данным спектрометров PAMELA и AMS-02. Затем использованная методика обработки сигналов применяется к данным различных нейтронных мониторов, измеряющих вариации всех частиц КЛ. Для каждого НМ определяется значение энергии, при которой амплитуда вариаций темпа счета становятся равна амплитуде, полученной в космических наблюдениях. Эта энергия считается эффективной энергией  $E_{eff}$  данного НМ. Построена зависимость восстановленной  $E_{eff}$  от жесткости геомагнитного обрезания. Приводится сравнение с результатом определения  $E_{eff}$  в публикации [1], где она определяется как энергия  $E$ , при которой интегральный поток  $J(< E)$  космических лучей остается пропорционален темпу счета  $N$  нейтронного монитора на протяжении всего цикла солнечной активности.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект “Фундаментальные проблемы космических лучей и темная материя” № 0723-2020-0040.

- [1] Gil A. et al. // Proceedings of Science, 2017, v. 301, p. 1.

## Дисковые аналоги спикул II типа на Солнце

*Якунина Г.В.*

*Государственный Астрономический институт им. П. К.  
Штернберга (ГАИШ, МГУ), Москва; e-mail: yakunina45@yandex.ru*

Хотя спикул были обнаружены почти 150 лет назад, они по-прежнему остаются одним из загадочных явлений в солнечной атмосфере. Роль спикул II типа в короне в последние годы стала предметом многочисленных исследований и дискуссий. Спикулы II типа из-за их динамичности, быстротечности, малой интенсивности, колебательных и торсионных движений, переналожения трудно наблюдать. Поэтому обнаружение быстропротекающих хромосферных событий, видимых на диске Солнца, которые по свойствам можно было считать двойниками спикул II типа, вызвало особый интерес.

Сначала были обнаружены события с <"излишней» интенсивностью в синем крыле линии поглощения — Rapid Blueshifted Excursion (RBEs). Позднее удалось также наблюдать события с превышением интенсивности в красном крыле линии — Rapid Redshifted Excursion (RREs).

Детальные спектры IRIS показывают, что дисковые аналоги спикул спокойного Солнца легко видны в крыльях хромосферных линий и в линиях переходной области. Они поднимаются в <"кустах» хромосферной сетки, и как на диске так и на лимбе показывают те же спектральные характеристики, как RBEs/RREs (например, Sekse et al., 2013), что является доказательством того, что RBEs/ RREs это дисковые аналоги спикул.

Представлен краткий обзор результатов наблюдений дисковых аналогов хромосферных спикул II типа. Использовались данные, полученные наземными и космическими телескопами.

## Оглавление

<i>Абраменко В.И.</i> Проявления турбулентной составляющей глобального солнечного динамо . . . . .	3
<i>Абрамов-Максимов В.Е., Бакунина И.А.</i> Предвспышечные флуктуации микроволнового излучения активных областей . . . . .	4
<i>Абунина М.А., Шлык Н.С., Белов А.В., Абунин А.А.</i> Солнечные протонные события и Форбуш-эффекты с одними и теми же источниками . . . . .	5
<i>Авакян С.В., Баранова Л.А.</i> Микроволновая энергетика межзвёздного межпланетного пространства: Модельное описание . . . . .	6
<i>Алексеева Л.М., Кшевецкий С.П.</i> Об особой роли уходящих вверх хромосферных токов в нагреве короны . . . . .	9
<i>Ахтемов З.С., Цап Ю.Т., Малащук В.М.</i> Магнитное поле солнечных пятен по измерениям в обсерватории Маунт-Вилсон и радиоизлучение F10.7 на фазе спада и минимума 24 цикла . . . . .	10
<i>Бакунина И.А., Мельников В.Ф., Абрамов-Максимов В.Е.</i> Особенности корональных магнитных структур в бессиловом приближении для активных областей со вспышками рентгеновского класса M, сопровождающимися и не сопровождающимися корональными выбросами масс . . . . .	11
<i>Березин И.А., Тлатов А.Г.</i> Моделирование скорости солнечного ветра на основе различных параметров коронального магнитного поля . . . . .	12
<i>Березин И.А., Тлатов А.Г.</i> Восстановление крупномасштабного магнитного поля методом аппроксимации I-профилей Стокса . . . . .	13
<i>Беспалов П.А.</i> О механизме возбуждения солнечных всплесков I типа . . . . .	14
<i>Биленко И.А.</i> Закономерности формирования и циклических вариаций солнечных магнитных полей разных масштабов в 21-25 циклах . . . . .	15
<i>Богод В.М., Лебедев М.К., Овчинникова Н.Е., Рупак А.М., Стороженко А.А., Курочкин Е.А.</i> О новых возможностях наблюдения рекомбинационных линий в солнечной короне . . . . .	16
<i>Васильев Г.И., Мелихова Е.С., Павлов А.К.</i> Изотопные следы активности раннего Солнца . . . . .	17
<i>Веретененко С.В., Дмитриев П.Б., Дергачев В.А.</i> Долговременные изменения основных траекторий внетропических циклонов в Северной Атлантике и их возможная связь с солнечной активностью . . . . .	18
<i>Вернова Е.С., Тясто М.И., Баранов Д.Г.</i> Два типа потоков магнитного поля в фотосфере Солнца . . . . .	19
<i>Волобуев Д.М., Скакун А.А.</i> Редукция погрешностей солнечных и климатических индексов на основе гипотезы о непрерывной динамической связи Солнце-Климат . . . . .	20

<i>Гетлинг А.В., Косовичев А.Г.</i> Течения в конвективной зоне Солнца: масштабы и вариации мощности в цикле солнечной активности	21
<i>Гетлинг А.В., Косовичев А.Г.</i> Суперротация структур супергрануляционного поля в конвективной зоне Солнца на различных глубинах	22
<i>Головко А.А., Салахутдинова И.И.</i> Особенности структуры и динамики активной области № 12673, связанные со вспышками	23
<i>Голубков В.С., Майоров А.Г., Юлбарисов Р.Ф.</i> Программная среда для моделирования «жизни» заряженной частицы в околоземном пространстве	24
<i>Гопасюк О.С., Вольвач А.Е., Якубовская И.В.</i> Поток магнитного пересоединения во время двух вспышек 6 сентября 2017	25
<i>Горбачев М.А., Шляпников А.А.</i> Поиск периодических изменений блеска и вспышечной активности у красных карликов среди объектов глубокого обзора экваториальной области по данным eROSITA	26
<i>Горбунов М.А., Шляпников А.А.</i> Идентификация в оптическом диапазоне спектра объектов из нового каталога «Звёзд с активностью солнечного типа» среди источников рентгеновского и радиоизлучения	27
<i>Григорьева И.Ю., Струминский А.Б., Шаховская А.Н.</i> Эффекты перестройки магнитной конфигурации активной области в тепловом/нетепловом излучении	28
<i>Губченко В.М.</i> Электронные скин-масштабы в физике разлетов и течений горячей плазмы	29
<i>Гуляева Т.Л.</i> Возмущения в магнитосфере и ионосфере в отсутствие пятен на Солнце	30
<i>Данилова О.А., Птицына Н.Г., Тясто М.И.</i> Явления гистерезиса во взаимосвязи жесткости обрезания космических лучей и параметров магнитосферы во время бури 15 мая 2005 года	31
<i>Птицына Н.Г., Демина И.М.</i> Модель частотной модуляции 11-летнего цикла солнечной активности	32
<i>Дергачев В.А.</i> Колебания климата в Антарктическом регионе на длительной временной шкале и текущие изменения климата	33
<i>Дертеев С.Б., Шивидов Н.К., Гаваев Б.С., Михалев Б.Б.</i> Влияние вида функции радиационных потерь корональной плазмы на поведение медленных магнитозвуковых волн	34
<i>Дмитриев П.Б.</i> Солнечная постоянная и вариации температуры тропосферы и стратосферы Земли в течение 23 и 24 циклов солнечной активности	35
<i>Ерофеев Д.В., Ерофеева А.В.</i> Особенности закона Джоя по данным Уссурийской астрофизической обсерватории	36

<i>Жукова А.В.</i> Влияние метода обработки длительных рядов наблюдений на отображение циклических вариаций регулярных и нерегулярных активных областей . . . . .	37
<i>Жукова А.В.</i> Способы определения статистической значимости наблюдаемой северо-южной асимметрии активных областей . . . . .	38
<i>Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г.</i> Исследование влияния мощных взрывных процессов в Активных Областях на характер колебаний параметров магнитного поля в тени солнечных пятен . . . . .	39
<i>Зайцев В.В., Шапошников В.Е., Ходаченко М.Л., Руменских М.С.</i> Об эффективности радиоизлучения на удвоенной плазменной частоте в магнитосфере экзопланеты HD189772b . . . . .	40
<i>Зимовец И.В., Шарыкин И.Н., Кальтман Т.И., Накаряков В.М., Колотков Д.Ю., Ступишин А.Г.</i> Предвспышечные пульсации с источниками вне активной области основной вспышки . . . . .	41
<i>Золотова Н.В., Возмянин М.В., Арльт Р.</i> Ревизия солнечных данных архивов Георга Кристофа Эймарта . . . . .	42
<i>Иванов В.Г., Наговицын Ю.А.</i> Связи между смежными циклами солнечной активности и их взаимная обусловленность . . . . .	43
<i>Илларионов Е.А., Арльт Р.</i> Оцифрованный каталог солнечных пятен, протуберанцев и факелов в 13–15 циклах по данным Цюрихской обсерватории . . . . .	44
<i>Ишков В.Н.</i> Солнечные циклы средней величины в разные эпохи солнечной активности . . . . .	45
<i>Калинин А.А., Калинина Н.Д.</i> Расчет спектра затменного протуберанца 29.03.2006 в неоднородной модели, включающей переходный слой протуберанец-корона . . . . .	46
<i>Каракотов Р.Р., Кузнецов А.А., Анфиногентов С.А.</i> Оценка параметров sloshing-колебаний во вспышечных корональных петлях по данным наблюдений SDO/AIA . . . . .	48
<i>Кацова М.М., Обриджо В.Н., Соколов Д.Д.</i> Solar and stellar activity cycles — no synchronization with exoplanets . . . . .	49
<i>Кашапова Л.К., Шамсутдинова Ю.Н., Zhang J., Жданов Д.А., Reid H.A.S.</i> Особенности связи между микроволновым и метровым радио излучением во время события 3 июня 2021 года . . . . .	50
<i>Кислов Р.А., Малова Х.В., Хабарова О.В., Потов В.Ю., Зелёный Л.М.</i> Проблема затекания вещества в гелиосферный токовый слой при наличии замкнутых линий магнитного поля . . . . .	51
<i>Кичатинов Л.Л.</i> Дифференциальное вращение и циклы активности звезд солнечного типа . . . . .	53
<i>Клиорин Н.И., Рогачевский И.В., Кузьян К.М., Степанов Р.А., Сафиуллин Н.Т., Поршнев С.В.</i> Theory and observations of turbulent magnetic helicity fluxes in solar convective zone . . . . .	54

<i>Комитов Б.П., Кафтан В.И.</i> Нижняя ионосфера и земные тектонические процессы . . . . .	55
<i>Соловьев А.А., Королькова О.А.</i> Двойное магнитное волокно как элемент тонкой структуры вспышечной конфигурации . . . . .	56
<i>Костюченко И.Г.</i> Характеристики активных областей, маркирующих активные долготы, в минимумах солнечной активности между циклами 23/24 и 24/25 . . . . .	57
<i>Котов В.А.</i> Циклы Солнца, движение Земли и числа Фибоначчи . . . . .	58
<i>Кручинин П.А., Малахов В.В.</i> Определение жесткости геомагнитного обрезания космических лучей в магнитосфере Земли . . . . .	59
<i>Кудрявцев И.В., Дергачев В.А.</i> Гелиосферный модуляционный потенциал, Солнечная активность и скорость формирования болот на Северо-Западе России в Голоцене . . . . .	60
<i>Кудрявцев И.В., Ватагин П.В.</i> Динамика ленгмюровских волн при индуцированном рассеянии на тепловых электронах и ионах плазмы. Анизотропный случай . . . . .	61
<i>Кудрявцев И.В., Дергачев В.А., Наговицын Ю.А.</i> Содержание космогенных изотопов $^{10}\text{Be}$ и $^{14}\text{C}$ в природных архивах, вариации климата Земли и солнечной активности в середине Голоцена . . . . .	62
<i>Кузьян К.М., Клиорин Н.И., Рогачевский И.В., Степанов Р.А., Сафиуллин Н.Т., Поршнев С.В.</i> Расчет радиально-широтной зависимости потока магнитной спиральности в солнечном цикле: теория и сравнение с наблюдениями . . . . .	63
<i>Кузьменко И.В.</i> Депрессия микроволнового излучения как отклик на возникновение джета . . . . .	64
<i>Куприянова Е.Г., Кашапова Л.К., Рид Х.А.С., Лонг Д., Жанг Дж.</i> О взаимосвязях радиовсплесков III типа с источниками микроволнового и КУФ излучения во время слабой солнечной вспышки . . . . .	65
<i>Куприянова Е.Г., Кальтман Т.И., Кузнецов А.А.</i> Модуляция микроволнового излучения симметричной БМЗ волной в условиях солнечной короны . . . . .	66
<i>Купряков Ю.А., Бычков К.В., Белова О.М., Горшков А.Б., Kotrč P.</i> Анализ и расчет модели эруптивного протуберанца . . . . .	67
<i>Курочкин Е.А., Петерова Н.Г., Топчило Н.А.</i> Развитие прогнозирования вспышечной активности в микроволновом диапазоне . . . . .	68
<i>Куценко А.С.</i> Эксперименты по наблюдению Солнца с высоким пространственным разрешением на БСТ-1 КраО РАН . . . . .	69
<i>Куценко О.К., Абраменко В.И., Куценко А.С.</i> Характеристики магнитного потока в затухающих активных областях . . . . .	70
<i>Литвишко Д.В., Куценко А.С., Абраменко В.И.</i> Анализ дифференциального вращения анти-Хейловских активных областей . . . . .	71

<i>Лопин И.П.</i> Изгибные колебания аркады корональных петель с конечной плазменной бета . . . . .	72
<i>Мельников В.Ф., Филатов Л.В.</i> Синхротронное суб-терагерцовое излучение солнечных вспышек . . . . .	73
<i>Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.</i> Области энергосвечения в солнечной короне . . . . .	74
<i>Мерзляков В.Л.</i> Энергетические факторы солнечных вспышек . . . . .	75
<i>Мешалкина Н.С., Мельников В.Ф.</i> Расширение и сжатие системы вспышечных петель во время вспышки 15.01.2022 по данным в ультрафиолетовом и микроволновом диапазонах . . . . .	76
<i>Можаровский С.Г.</i> Смешивание излучения двух компонент плазмы в апертуре Hinode SOT/SP при наблюдениях полутени . . . . .	77
<i>Морозова Д.Н., Майоров А.Г.</i> Взаимосвязь высыпаний частиц из радиационного пояса Земли и космических гамма-всплесков . . . . .	78
<i>Моторина Г.Г., Цап Ю.Т., Смирнова В.В., Моргачев А.С., Шрамко А.Д.</i> Предвестники солнечных вспышек и суб-терагерцовое излучение события 28.03.2022 . . . . .	79
<i>Мотыж И.Д., Сетов А.Г., Шамсутдинова Ю.Н., Жданов Д.А., Кашапова Л.К.</i> Исследование связи между микроволновым и метровым излучением всплеска на фазе спада круговой вспышки 22 мая 2021 по данным Сибирского радиогелиографа и Иркутского радара некогерентного рассеяния . . . . .	80
<i>Наговицын Ю.А., Осипова А.А.</i> Длительные изменения средних свойств групп солнечных пятен . . . . .	81
<i>Наговицын Ю.А., Осипова А.А., Певцов А.А.</i> Две популяции групп солнечных пятен и меридиональные скорости на Солнце . . . . .	82
<i>Николаева В.Д., Гордеев Е.И.</i> Эмпирическая модель спектра солнечного излучения в диапазоне длин волн 0–190 нм . . . . .	83
<i>Кацова М.М., Обриджо В.Н., Соколов Д.Д., Лившиц И.М.</i> Solar and Stellar Flares: Frequency, Active Regions, and Stellar Dynamo . . . . .	84
<i>Огурцов М.Г.</i> О возможной корреляции между многовековыми вариациями солнечной активности и летней температуры в южной части Южной Америки . . . . .	85
<i>Ожередов В., Струминский А.Б.</i> Двухфазная модель ускорения КВМ . . . . .	86
<i>Осипова А.А., Наговицын Ю.А.</i> Зависимость дифференциального вращения от морфологической структуры групп пятен . . . . .	88
<i>Ковальцов Г.И., Остряков В.М., Шараг С.П.</i> Особенности химического состава СКЛ (нейтрон избыточные изотопы) . . . . .	89
<i>Павлов А.К., Васильев Г.И., Константинов А.Н., Остряков В.М., Фролов Д.А.</i> Солнечная активность за последние 10 миллионов лет . . . . .	90

<i>Парфименко Л.Д.</i> Особенности хромосферной вспышки 10 мая 2022 года . . . . .	91
<i>Протопопов Г.А., Бондарев Е.А., Чубунов П.А., Репин А.Ю., Денисова В.И., Цургаев А.В.</i> Вариации потоков электронов во внешнем радиационном поясе в период 2021-2022 по данным с КА РФ	92
<i>Прошин С.А., Голубков В.С., Майоров А.Г., Малахов В.В.</i> Влияние литосферной компоненты магнитного поля земли на траектории космических лучей . . . . .	93
<i>Рагульская М.В.</i> Солнечная активность и факторы социального регулирования в развитии пандемии COVID-19 . . . . .	94
<i>Скакун А.А., Волобуев Д.М., Макаренко Н.Г.</i> Сравнение влияния Галактических космических лучей и Полного потока солнечного излучения на явление Эль-Ниньо . . . . .	96
<i>Соколов Д.Д., Окатьев Р.С., Фрик П.Г.</i> Динамический хаос и происхождение вариаций солнечной активности . . . . .	97
<i>Соловьев А.А.</i> Бессиловой магнитный жгут в слабом поперечном поле	98
<i>Зайцев В.В., Степанов А.В., Курпянова Е.Г.</i> Особенности джоулевой диссипации в атмосфере Солнца: роль нейтральной компоненты . . . . .	99
<i>Струминский А.Б., Григорьева И.Ю., Садовский А.М.</i> Магнитная детонация и ускорение КВМ на примере события 13 декабря 2006 года . . . . .	100
<i>Сулейманова Р.А., Абраменко В.И.</i> Долготное распределение активных областей в максимуме 23 солнечного цикла . . . . .	102
<i>Тлатов А.Г., Тлатова К.А.</i> Время жизни солнечных пор и пятен	103
<i>Тлатова К.А., Тлатов А.Г.</i> Изучение эффект Вильсона методом усреднения профиля солнечных пятен. . . . .	104
<i>Ильин Г.Н., Быков В.Ю., Топчило Н.А., Петерова Н.Г.</i> Наблюдение солнечного затмения 10.06.2021 г. на радиометре водяного пара ИПА РАН . . . . .	105
<i>Филатов Л.В., Мельников В.Ф.</i> Ускорение нетепловых электронов при их согласованном взаимодействии с турбулентностью вистлеров во вспышечной петле . . . . .	106
<i>Фёдоров В.М.</i> Экстремумы летней инсоляции Земли в северном полушарии и глобальные климатические события голоцена . . . . .	107
<i>Фёдоров В.М., Фролов Д.М.</i> Особенности транзитного облучения окружающего Землю пространства . . . . .	108
<i>Фурсяк Ю.А.</i> Крупномасштабные электрические токи в процессах нагрева короны Солнца . . . . .	109
<i>Рыспаева Е., Холтыгин А., Лютиков М.</i> Магнитосферная аккреция на Ae/Be звезды Хербига и звезды Т Тау . . . . .	110

<u>Цап Ю.Т., Исаева Е.А.</u> О связи солнечных космических лучей с радиовсплесками II типа . . . . .	111
<u>Цап Ю.Т., Степанов А.В., Копылова Ю.Г.</u> Субтерагерцовое излучение вспыхивающих звезд . . . . .	112
<u>Шабалин А.Н., Овчинникова Е.П., Чариков Ю.Е.</u> Корональные источники жесткого рентгеновского излучения в моделях солнечных вспышек с вертикальным токовым слоем: наблюдения и моделирование . . . . .	113
<u>Шамсутдинова Ю.Н., Сетов А.Г., Жданов Д.А., Кашапова Л.К.</u> Первые результаты анализа серии всплесков на частоте 161 МГц 21-23 мая 2021 . . . . .	114
<u>Шатовалов С.Н.</u> Анализ данных мониторинга солнечного излучения в диапазонах UVB-UVA (Арктика-Антарктида) . . . . .	115
<u>Шаховская А.Н., Григорьева И.Ю.</u> Исследование событий, предшествующих вспышкам, связанным с GLE69, GLE70, GLE71 и GLE72 в мягком рентгене и радиоизлучении . . . . .	116
<u>Шибачев И.Г.</u> Параметризация ветви роста солнечных циклов без «квазидвухлеток» . . . . .	117
<u>Шивидов Н.К., Нага Варун Е., Михалев Б.Б.</u> Дисперсия медленных магнитозвуковых волн в корональной плазме . . . . .	118
<u>Шлык Н.С., Белов А.В., Абунина М.А., Абунин А.А.</u> Оценка транзитной скорости и времени распространения корональных выбросов массы по солнечным данным . . . . .	119
<u>Шляпников А.А., Бондарь Н.И.</u> Поиск малоамплитудных периодических изменений блеска у звезды HD 168443 с планетной системой	120
<u>Шляпников А.А.</u> Звёзды с экзопланетами в новом каталоге «Звёзд с активностью солнечного типа» . . . . .	121
<u>Сирук С.А., Юлбарисов Р.Ф., Майоров А.Г.</u> Метод оценки эффективной энергии нейтронных мониторов на основе 27-дневных вариаций ГКЛ . . . . .	122
<u>Якунина Г.В.</u> Дисковые аналоги спикул II типа на Солнце . . . . .	123
Оглавление . . . . .	124
Список авторов . . . . .	131

## Список авторов

Абраменко В.И., 3, 70, 71, 102  
Абрамов-Максимов В.Е., 4, 11  
Абунин А.А., 5, 119  
Абунина М.А., 5, 119  
Авакян С.В., 6  
Алексеева Л.М., 9  
Анфиногентов С.А., 48  
Арлыт Р., 42, 44  
Ахтемов З.С., 10  
Бакунина И.А., 4, 11  
Баранов Д.Г., 19  
Баранова Л.А., 6  
Белов А.В., 5, 119  
Белова О.М., 67  
Березин И.А., 12, 13  
Беспалов П.А., 14  
Биленко И.А., 15  
Богод В.М., 16  
Бондарев Е.А., 92  
Бондарь Н.И., 120  
Быков В.Ю., 105  
Бычков К.В., 67  
Васильев Г.И., 17, 90  
Ватагин П.В., 61  
Веретененко С.В., 18  
Вернова Е.С., 19  
Волобуев Д.М., 20, 96  
Вольвач А.Е., 25  
Вохмянин М.В., 42  
Гаваев Б.С., 34  
Гетлинг А.В., 21, 22  
Головко А.А., 23  
Голубков В.С., 24, 93  
Гопасюк О.С., 25  
Горбачев М.А., 26  
Горбунов М.А., 27  
Гордеев Е.И., 83  
Горшков А.Б., 67  
Григорьева И.Ю., 28, 100, 116  
Губченко В.М., 29  
Гуляева Т.Л., 30  
Данилова О.А., 31  
Демина И.М., 32  
Денисова В.И., 92  
Дергачев В.А., 18, 33, 60, 62  
Дертеев С.Б., 34  
Дмитриев П.Б., 18, 35  
Ерофеев Д.В., 36  
Ерофеева А.В., 36  
Жанг Дж., 65  
Жданов Д.А., 50, 80, 114  
Жукова А.В., 37, 38  
Загайнова Ю.С., 39  
Зайцев В.В., 40, 99  
Зелёный Л.М., 51  
Зимовец И.В., 41  
Золотова Н.В., 42  
Иванов В.Г., 43  
Илларионов Е.А., 44  
Ильин Г.Н., 105  
Исаева Е.А., 111  
Ишков В.Н., 45  
Калинин А.А., 46  
Калинина Н.Д., 46  
Кальтман Т.И., 41, 66  
Каракотов Р.Р., 48  
Кафтан В.И., 55  
Кацова М.М., 49, 84  
Кашапова Л.К., 50, 65, 80, 114  
Кислов Р.А., 51  
Кичатинов Л.Л., 53  
Клиорин Н.И., 54, 63  
Ковальцов Г.И., 89  
Колотков Д.Ю., 41  
Комитов Б.П., 55  
Константинов А.Н., 90  
Копылова Ю.Г., 112

Королькова О.А., 56  
 Косовичев А.Г., 21, 22  
 Костюченко И.Г., 57  
 Котов В.А., 58  
 Кручинин П.А., 59  
 Кудрявцев И.В., 60–62  
 Кузаян К.М., 54, 63  
 Кузнецов А.А., 48, 66  
 Кузьменко И.В., 64  
 Куприянова Е.Г., 65, 66, 99  
 Купряков Ю.А., 67  
 Курочкин Е.А., 16, 68  
 Куценко А.С., 69–71  
 Куценко О.К., 70  
 Кшевецкий С.П., 9  
 Лебедев М.К., 16  
 Лившиц И.М., 84  
 Литвишко Д.В., 71  
 Лонг Д., 65  
 Лопин И.П., 72  
 Лютиков М., 110  
 Майоров А.Г., 24, 78, 93, 122  
 Макаренко Н.Г., 96  
 Малахов В.В., 59, 93  
 Малащук В.М., 10  
 Малова Х.В., 51  
 Мелихова Е.С., 17  
 Мельников В.Ф., 11, 73, 76, 106  
 Мерзляков В.Л., 74, 75  
 Мешалкина Н.С., 76  
 Михалев Б.Б., 34, 118  
 Можаровский С.Г., 77  
 Моргачев А.С., 79  
 Морозова Д.Н., 78  
 Могорина Г.Г., 79  
 Мотык И.Д., 80  
 Нага Варун Е., 118  
 Наговицын Ю.А., 43, 62, 81, 82, 88  
 Накаряков В.М., 41  
 Николаева В.Д., 83  
 Обридко В.Н., 49, 84  
 Овчинникова Е.П., 113  
 Овчинникова Н.Е., 16  
 Огурцов М.Г., 85  
 Ожередов В., 86  
 Окатьев Р.С., 97  
 Осипова А.А., 81, 82, 88  
 Остряков В.М., 89, 90  
 Павлов А.К., 17, 90  
 Парфиненко Л.Д., 91  
 Певцов А.А., 82  
 Петерова Н.Г., 68, 105  
 Попов В.Ю., 51  
 Поршнева С.В., 54, 63  
 Протопопов Г.А., 92  
 Прошин С.А., 93  
 Птицына Н.Г., 31, 32  
 Рагульская М.В., 94  
 Репин А.Ю., 92  
 Рид Х.А.С., 65  
 Рипак А.М., 16  
 Рогачевский И.В., 54, 63  
 Руменских М.С., 40  
 Рыспаева Е., 110  
 Садовский А.М., 100  
 Салахутдинова И.И., 23  
 Сафиуллин Н.Т., 54, 63  
 Сетов А.Г., 80, 114  
 Сирук С.А., 122  
 Скакун А.А., 20, 96  
 Смирнова В.В., 79  
 Соколов Д.Д., 49, 84, 97  
 Соловьев А.А., 56, 98  
 Старкова Л.И., 74  
 Степанов А.В., 99, 112  
 Степанов Р.А., 54, 63  
 Строженко А.А., 16  
 Струминский А.Б., 28, 86, 100  
 Ступишин А.Г., 41  
 Сулейманова Р.А., 102  
 Тлатов А.Г., 12, 13, 103, 104  
 Тлатова К.А., 103, 104

Топчило Н.А., 68, 105  
Тясто М.И., 19, 31  
Файнштейн В.Г., 39  
Филатов Л.В., 73, 106  
Фрик П.Г., 97  
Фролов Д.А., 90  
Фролов Д.М., 108  
Фурсяк Ю.А., 109  
Фёдоров В.М., 107, 108  
Хабарова О.В., 51  
Ходаченко М.Л., 40  
Холтыгин А., 110  
Цап Ю.Т., 10, 79, 111, 112  
Цургаев А.В., 92  
Чариков Ю.Е., 113  
Чубунов П.А., 92  
Шабалин А.Н., 113  
Шамсутдинова Ю.Н., 50, 80, 114  
Шаповалов С.Н., 115  
Шапошников В.Е., 40  
Шараг С.П., 89  
Шарькин И.Н., 41  
Шаховская А.Н., 28, 116  
Шиббаев И.Г., 117  
Шивидов Н.К., 34, 118  
Шлык Н.С., 5, 119  
Шляпников А.А., 26, 27, 120, 121  
Шрамко А.Д., 79  
Юлбарисов Р.Ф., 24, 122  
Якубовская И.В., 25  
Якунина Г.В., 123  
Kotrč P., 67  
Reid H.A.S., 50  
Zhang J., 50