

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ГЛАВНАЯ (ПУЛКОВСКАЯ) АСТРОНОМИЧЕСКАЯ
ОБСЕРВАТОРИЯ

**СОЛНЕЧНАЯ
И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНАЯ ФИЗИКА — 2023**

*XXVII ВСЕРОССИЙСКАЯ
ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ФИЗИКЕ СОЛНЦА*

9 – 13 октября 2023 года

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

Санкт-Петербург
2023

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на XXVII Всероссийскую ежегодную конференцию по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика — 2023» (9 – 13 октября 2023 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*), А.Г. Глазов (*ГАС 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*), Ю.Т. Цап (*КраО РАН*).

Магнитные структуры солнечной фотосферы как системы с самоорганизацией

Абраменко В.И.

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

Глобальная природа магнитного поля солнца как звезды создает условия для глобального упорядоченного поведения поля, которое выражается в цикличности активности солнца. Но этот циклический процесс действует в условиях турбулентности конвективной зоны, фотосферы, верхней атмосферы. А любая турбулентная среда – это система с самоорганизацией (возможность спонтанно создавать упорядоченные структуры из хаоса более мелких подсистем), с неизбежной перемежаемостью в пространстве и во времени (длительные промежутки низкой активности перемежаются с короткими промежутками высокой), с негауссовыми функциями распределения параметров, и т.д. Эти свойства магнитного поля будут определять и природу флуктуаций поля, а флуктуации поля, в свою очередь, — это ключевой ингредиент работы динамо. В этой связи выявление свойств самоорганизации магнитных полей представляет собой не только познавательный интерес, но и открывает возможности поиска и проверки критериев для динамо-моделей. Важным подмножеством систем с самоорганизацией являются системы с самоорганизованной критичностью (self-organized criticality, SOC). Это системы, для которых характерен спонтанный переход в критическое состояние. Один из наиболее эффективных способов диагностики самоорганизации и состояния SOC – это анализ корреляционных функций. Коротко-коррелированные системы не обладают состоянием SOC, а появление длинных корреляций является признаком перехода в состояние SOC. В докладе проанализированы результаты исследования корреляционных функций фотосферного магнитного поля и его производных, в частности, токовой спиральности, квадрата плотности вертикального электрического тока. Исследованы различные по магнитоморфологическим свойствам активные области. Результаты показывают, что само магнитное поле вряд ли обладает свойством SOC, а скорее всего находится в состоянии только самоорганизации. Что касается спиральности и диссипативных структур, то здесь ситуация более сложная и, возможно, зависящая от магнито-морфологической структуры активной области.

**Частота встречаемости предвспышечных флуктуаций
микроволнового излучения активных областей Солнца**

Абрамов-Максимов В.Е.¹, Бакунина И.А.²

¹ ГАО РАН, Санкт-Петербург, e-mail: beat@gaoran.ru

² Национальный исследовательский университет «Высшая школа
экономики», Нижний Новгород

Исследована частота встречаемости квазипериодических флуктуаций (КПФ) микроволнового излучения активных областей Солнца на предвспышечной стадии. В работе использованы корреляционные кривые, полученные на радиогелиографе Нобеяма (NoRH). Проанализировано 529 вспышек классов X, M и C (по классификации GOES). Предвспышечные флуктуации микроволнового излучения наблюдаются примерно у 75% вспышек классов X и M5–M9 и у 50% более слабых вспышек. Характер предвспышечных флуктуаций в различных случаях разный. В части событий наблюдаются практически гармонические колебания. В большинстве случаев флуктуации носят спорадический характер и выглядят как последовательность слабых вспышек. Можно предположить, что природа предвспышечных КПФ в различных случаях разная.

Межпланетные возмущения, связанные с разными типами солнечных источников: сравнение в солнечных циклах 23 и 24

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

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

В работе исследуются сходство и различие межпланетных возмущений в солнечных циклах 23 и 24. Анализ проводился для групп событий, связанных с разными типами солнечных источников: корональными выбросами массы из активных областей, сопровождавшимися солнечными вспышками (группа СМЕ1); волоконными выбросами вне активных областей (группа СМЕ2); высокоскоростными потоками из корональных дыр (группа СН). Исследовались распределения и взаимосвязи различных параметров: амплитуды Форбуш-понижений; максимальных в течение события значений экваториальной анизотропии космических лучей, скорости солнечного ветра, напряженности магнитного поля, а также значений скорости солнечного ветра и напряженности магнитного поля за час до начала Форбуш-понижения. Результаты показали, что количество событий, значения параметров и их взаимосвязи зависят от фазы и цикла солнечной активности.

Оценка влияния теплового дисбаланса на точность определения параметров корональных структур

Агапова Д.В., Белов С.А.

¹ *Самарский университет, Самара,
e-mail: agapovadaria2019@gmail.com*

² *СФ ФИАН, Самара*

В солнечной атмосфере из-за зависимости процессов радиационного охлаждения и нагрева от параметров плазмы возможен сценарий, когда возмущение этих параметров магнитоакустической (МА) волной может привести к дисбалансу между данными термодинамическими процессами, что, в свою очередь, может повлиять на эволюцию МА волн, в частности, привести к их усилению/затуханию и возникновению зависимости фазовой скорости от частоты. Подобный эффект нарушения волной баланса между процессами нагрева и охлаждений получил название теплового дисбаланса.

Исследования МА-волн, распространяющихся в сильно магнитоструктурированной плазме, показали, что фазовая скорость медленных волн в длинноволновой части спектра зависит от теплового дисбаланса и ширины плазменного слоя. Классическое выражение для адиабатической трубочной скорости волн было заменено модифицированным выражением, учитывающим нагрев и охлаждение. Эта модифицированная скорость может существенно отличаться от классической и приводить к ошибкам при сейсмологической оценке параметров плазмы с использованием медленных МА-волн.

В данной работе мы сравнивали значение фазовой скорости, рассчитанное с учетом и без учета теплового дисбаланса. Нами было обнаружено, что использование классического выражения трубочной скорости в качестве предельного значения для больших периодов, действительно, приводит к ошибкам в определении температуры и магнитного поля плазмы. Согласно полученным результатам, эти ошибки могут даже превышать 50% при малых магнитных полях и превышают 80% для больших полей.

Работа частично поддержана Министерством образования и науки (проекты FSSS-2023-0009, 0023-2019-0003).

Фоновые мелкомасштабные магнитные поля верхней хромосферы Солнца и их способность генерировать пучки надтепловых протонов

Алексеева Л.М.

НИИЯФ МГУ, Москва, e-mail: l.m.alekseeva@yandex.ru

В верхней хромосфере плотно соприкасаются мелкомасштабные горизонтальные магнитные поля разнообразных конфигураций. Рассмотрим случай, когда в какой-то момент времени в контакте оказываются (граничат) друг с другом две магнитные области, которые друг от друга отличаются лишь полярностью. Будем считать, что магнитное давление в них в начальный момент уравновешено газовым. Физически такая ситуация соответствует (плоскому) изначально равновесному пинчу. Позже в нем развиваются перетяжная и изгибная неустойчивости. В лабораторных условиях они выбрасывают плазму на стенки установки, что обрывает совместную эволюцию плазмы и поля. На Солнце стенок нет, и это обстоятельство позволяет исследовать ее естественный длительный ход.

Проведенные ранее численные эксперименты дали возможность увидеть, что в столкновительной плазменной среде верхней хромосферы еще до заметного начала изгибной неустойчивости развитие первичной перетяжки проходит специфические этапы, среди которых имеет место ее раздвоение. Как аналитически показано в настоящем докладе, каждая из образовавшихся перетяжек в дальнейшем генерирует свой пучок протонов весьма больших энергий, коллинеарный оси пинча. Величина полученной протоном энергии регулируется газодинамической вязкостью плазмы: чем меньше вязкость, тем больше энергия.

**Унифицированная база данных наблюдений Солнца
в линии HeI 1083nm, полученных на телескопе
БСТ-2/КраО**

Андреева О.А., Малащук В.М., Плотников А.А.

КраО РАН, Научный, e-mail: olga@craocrimea.ru

В последнее время фокус в наблюдательной области физики Солнца смещается в сторону увеличения пространственного разрешения и изучения верхних слоев атмосферы Солнца. Для исследования физических свойств верхней хромосферы и переходного слоя между хромосферой и короной многие инструменты используют триплет He I 1083 nm (HeI). Именно в этой линии, которая образуется в верхней хромосфере на высоте около 2000-3000 км и возбуждается ультрафиолетовым излучением, возможно наблюдать корональные дыры с Земли. Во второй половине 1980-х годов в Крымской астрофизической на башенном солнечном телескопе БСТ-2 под руководством Н.Н. Степанян был введен в строй солнечный спектрофотометр, предназначенный для наблюдения Солнца в линии HeI. Прибор позволил проводить изучение хромосферных образований и наблюдать корональные дыры. Систематические наблюдения в линии HeI начались в 1999 году. Накопленные на БСТ-2 за это время наблюдательные данные позволяют анализировать эволюцию корональных дыр, изучать их широтное распределение, процессы формирования, связь с другими структурами на Солнце. Наблюдения по данной программе необходимо продолжать и дальше, для расширения ряда данных на текущий солнечный цикл. Вместе с тем, за это время неоднократно выполнялась модернизация процесса наблюдений разной сложности и процесс обработки изображений так же претерпевал некоторые изменения. Возникла необходимость унифицировать полученные в разное время изображения к единому виду. В настоящий момент все изображения, полученные в период с 1999 по 2023 гг., обрабатываются по единой методике и из них формируется унифицированная база данных. В работе кратко представлены алгоритм, описание и фрагменты базы данных.

Динамика корональных дыр в солнечном минимуме 24/25

Андреева О.А.

КрАО РАН, Научный, e-mail: olga@craocrimea.ru

Мы исследуем эволюцию двух типов корональных дыр (КД) в солнечном минимуме 24/25, которому предшествовали затянувшийся минимум 23/24 и слабый 24 цикл солнечной активности. Нашей задачей было прояснить является ли поведение КД в этот период также особенным? Чтобы проанализировать его характер, выбран двухлетний период времени, 2019 и 2020 годы, вокруг абсолютного минимума (декабрь 2019), когда солнечная активность постоянно низка. Исследование основано на материале наблюдений, полученных AIA/SDO в линии Fe XII 19.3 nm. Для локализации КД и расчета их площадей использована База данных HEK (Heliophysics Events Knowledgebase) http://www.lmsal.com/hek/hek_isolsearch.html. Корональные дыры — это области открытой магнитной конфигурации на Солнце, являющиеся источниками солнечного ветра и тем самым оказывающие важное влияние на космическую погоду. Они имеют расположение и форму, которые зависят от магнитного поля Солнца и поэтому меняются в соответствии с солнечным циклом. Анализируя динамику КД, в частности, их площадей, мы можем судить о динамике Солнца и ходе цикла. КД могут образовываться в любое время в течение 11-летнего солнечного цикла, однако в период минимума активности области открытого поля над полюсами — полярные корональные дыры, достигают своего максимального расширения. Они могут расти и мигрировать в более низкие солнечные широты, где чаще встречаются неполярные или изолированные КД. В результате исследования была выявлена разница в работе полусфер по генерации как полярных, так и неполярных корональных дыр. Показано, что в начале минимума по генерации обоих типов корональных дыр лидировало южное, после абсолютного минимума — северное полушарие. Наблюдается асимметрия полушарий во времени появления максимальных пиков площадей. Обнаружено, что полярные корональные дыры вносят значительный вклад в общую площадь всех корональных дыр. Сделан вывод о том, что по динамике корональных дыр обоих типов минимум 24/25 скорее близок к более ранним минимумам, чем к минимуму 23/24.

Зависимость скорости солнечного ветра от площади корональных дыр и их фрактальной размерности

Ахтемов З.С.¹, Цап Ю.Т.²

¹*Крымская астрофизическая обсерватория, Научный,
e-mail: azis@crasrimea.ru*

²*Крымская астрофизическая обсерватория, Научный,
e-mail: yur_cao@mail.ru*

Известно (см., например, [1]), что пиковая скорость быстрых потоков солнечного ветра (БПВ) на орбите Земли V пропорциональна площади экваториальных корональных дыр (КД) S . При этом коэффициент корреляции варьируется в широких пределах от 0.4 до 0.9 [2].

Недавно в статье [3] было показано, что пропорциональность между скоростью V и площадью S выполняется лишь для КД малых размеров, тогда как для более крупных КД наступает эффект насыщения, т.е. на графике $V(S)$ формируется плато. По мнению авторов, это можно объяснить геометрической сложностью КД, описываемой фрактальной размерностью.

Ранее нами было установлено [4], что коэффициент корреляции между V и S достигает максимума для части КД, расположенной в пределах сегмента («дольки»): $\pm 10^\circ$ по долготе и $\pm 40^\circ$ по широте. Это объясняется радиальным распространением БПВ, поэтому увеличение размеров больших КД не должно сопровождаться ростом БПВ.

В представленной работе проведен детальный анализ результатов, полученных Samara et al. [3] и Akhtemov & Tsap, [4]. Приведены аргументы в пользу модели, предложенной Akhtemov & Tsap, [4].

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (НИР No.021051101548-7-1.3.8).

- [1] Nolte et al. // Solar Phys., 1976, v. 46, p. 303.
- [2] Shugai et al. // Geomagn. Aeronom., 2009, v. 49, p. 435.
- [3] Samara et al. // Astron. Astrophys., 2022, v. 662, p. A68.
- [4] Akhtemov, Z.S. & Tsap, Yu.T. // Geomagn. Aeronom., 2018, v. 58, p. 1187.

Магнитные жгуты во вспышечных активных областях

*Бакунина И.А.¹, Мельников В.Ф.², Кузнецов С.А.²,
Абрамов-Максимов В.Е.²*

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

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

Рассмотрена выборка из 15 вспышек рентгеновского класса М, семь из которых сопровождалась СМЕ, в пяти вспышках не было отмечено выбросов вещества (эрупции), в трех вспышках в каталогах отмечена эрупция, но СМЕ не наблюдались. Восстановление магнитного поля в нелинейном бессилом приближении на основе векторных магнитограмм SDO/HMI показало, что во всех рассмотренных событиях отмечается наличие магнитных жгутов в области максимальной яркости вспышки, которые существовали и до, и после вспышки. Вспышки без эрупции и с эрупцией, но без СМЕ, происходили в закрытой магнитной конфигурации с расположением жгута под углом или почти перпендикулярно к вышележащим магнитным аркам. После вспышки магнитный жгут не демонстрировал значительных изменений. Вспышки с СМЕ происходили, в основном, в открытых магнитных структурах, в некоторых случаях наблюдалось практически параллельное расположение магнитного жгута к вышележащим магнитным силовым линиям. После вспышки магнитный жгут демонстрировал более значительные изменения, чем во вспышках без СМЕ. Области с сильными вертикальными токами отождествляются с областями максимальной яркости вспышки.

**Влияние теплопроводности на определение параметров
корональных структур по медленным волнам**

Белов С.А., Завершинский Д.И., Агапова Д.В.

¹*СФ ФИАН, Самара,; e-mail: mr_beloff@mail.com*

²*Самарский университет, Самара*

Медленные магнитоакустические (МА) волны, распространяющиеся в различных магнитных структурах солнечной короны, широко используются для оценки параметров их плазмы: направления и величины магнитного поля, коэффициентов переноса и т.д. Зачастую для данных оценок используются модели, не учитывающие различные диссипативные процессы, в частности, теплопроводность. Данный факт может приводить к значительным ошибкам при оценке параметров плазмы по медленным МА волнам, поскольку они подвержены сильному влиянию данных процессов.

В данной работе в приближении тонкой трубки второго порядка рассмотрены дисперсионные свойства медленных МА волн в теплопроводной плазме. С помощью полученных дисперсионных кривых, оценены ошибки в оценке магнитного поля по медленным МА волнам в различных типах корональных петель.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-10008, <https://rscf.ru/project/23-22-10008/> и Правительства Самарской области.

**Система прогнозирования космической погоды
по данным наблюдений телескопов ГАС ГАО**

*Березин И.А., Тлатов А.Г., Шрамко А.Д.,
Дормидонтов Д.В., Кирпичев Р.Н., Сапешко В.И.,
Скорбеж Н.Н.*

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

На ГАС ГАО разработана комплексная система прогнозирования параметров солнечного ветра (СВ), основанная на двух типах наблюдений. Прогнозирование рекуррентных потоков базируется на синоптических измерениях магнитных полей на полном диске Солнца посредством магнитографа СТОП. Корональные выбросы массы (КВМ) внедряются в смоделированные рекуррентные потоки в виде аэродинамических возмущений. Информация о начальных параметрах КВМ получается с помощью патрульных телескопов – регистраторов КВМ в линии Н-альфа и Са II К. В докладе представлен краткий обзор используемых методик и моделей. Также обсуждаются планы развития сети хромосферных телескопов, предназначенных для регистрации КВМ.

**Возбуждение коротких радиоимпульсов
релятивистскими электронами в разреженной
магнитосфере коричневого карлика**

Беспалов П.А.¹, Савина О.Н.²

¹*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород,
e-mail: pbespalov@mail.ru*

²*Национальный исследовательский университет «Высшая школа
экономики», Нижний Новгород, e-mail: onsavina@mail.ru*

Отмечено, что *BPA* (beam pulsed amplifier) механизм может быть ответственен за эффективное усиление коротких электромагнитных импульсов релятивистскими электронами в магнитосфере коричневого карлика. Рассчитана величина усиления коротких шумовых электромагнитных импульсов в разреженной магнитосфере. Усиление имеет место для необыкновенной моды в полосе частот, близкой к половине электронной циклотронной частоты. Установленные результаты могут объяснить важные свойства электромагнитных излучений типичных для коричневых карликов таких как высокая яркостная температура источника, циркулярная поляризация со своеобразным переключением, периодичность с периодом вращения звезды и узкую диаграмму направленности излучения. Предложенный механизм возбуждения радио излучений эффективен даже при отсутствии сильной анизотропии функции распределения релятивистских электронов.

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

Циклические вариации меридиональных потоков на Солнце

Биленко И.А.

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

Меридиональные потоки играют ключевую роль во многих процессах на Солнце. Изучение закономерностей проявления меридиональных течений магнитных полей важно для понимания работы солнечного динамо. Меридиональные потоки играют важную роль в формировании дифференциального вращения и его циклических вариаций. Они приводят к глобальному перераспределению плазмы, нагрева, углового момента во всех слоях Солнца от конвективной зоны до короны. Согласно ряду современных исследований циклические вариации меридиональных потоков позволяют объяснить изменения амплитуды и продолжительности циклов солнечной активности.

На основе большого объема наблюдательных данных магнитных полей полученных как на наземных: WSO (Wilcox Solar Observatory) и Kitt-Peak KPVT (Kitt Peak Vacuum Telescope) и SOLIS/VSM (Synoptic Optical Long-Term Investigations/Vector Stokes Magnetograph), так и на космических: SOHO/MDI (Solar and Heliospheric Observatory/Michelson Doppler Imager) и SDO/HMI (Solar Dynamics Observatory/Helioseismic and Magnetic Imager) обсерваториях рассмотрены циклические вариации меридиональных движений крупномасштабных и локальных фотосферных магнитных полей Солнца в 21-25 циклах солнечной активности.

Приведены результаты расчета скорости меридиональных потоков направленных к полюсам и к экватору в каждой полусфере и их циклических вариаций. Детально исследованы особенности меридиональных потоков в низких и высоких циклах солнечной активности. Проанализированы выявленные особенности меридиональных течений и вариаций их скоростей на разных фазах солнечной активности.

О новых возможностях наблюдения спектральных линий в короне Солнца

*Богод В.М., Лебедев М.К., Овчинникова Н.Е., Рипак А.М.,
Стороженко А.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 радиолинии $2^2P_{3/2} - 2^2S_{1/2}$ на волне 2.05 см с помощью разных инструментов и радиотелескопа РАТАН-600 указывают на нерегулярную регистрацию этой линии, ввиду ряда причин [4]. Сложность проблемы состоит в реализации технического и методического подходов в проведении наблюдательного мониторинга. В связи с проведением существенных изменений в идеологии радиоспектроскопии [5] 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 уровнях мощных фоновых сигналов. 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] J.P. Wild, The radio-frequency line spectrum of atomic hydrogen and its applications in Astronomy(1952) *Astrophys. J.* v.115, no.2, pp.206–221.
- [2] А.Ф. Дравских, *Известия ГАО*, 164, 128, 1960.
- [3] В.К. Херсонский, Д.А. Варшалович, *Астрон. журн*, 57, с.621–623, 1980.
- [4] А.Ф. Дравских, Ю.А. Дравских. О возможности наблюдения ряда радиолиний водорода в солнечных активных образованиях над пятнами, 2021, *АЖ*, том 98, № 8, 694–704.
- [5] Богод В.М., Лебедев М.К., Овчинникова Н.В., Рипак А.М., Стороженко А.А., *Спектрорадиометрия солнечной короны на РАТАН-600, Космические исследования*, № 1, 2023 г, стр.31–38.

**Параметры поверхностных неоднородностей
М-карлика V647 Her по результатам фотометрии**

Бондарь Н.И., Алексеев И.Ю., Антонож К.А., Пить Н.В.

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

Звезда V647 Her (Gl 669 A) относится к красным карликам спектрального типа M3.5 Ve, проявляющим вспыхивающую активность. По фотометрическим наблюдениям, выполненным в 2019 г. и 2022 г. на 125-см телескопе АЗТ-11 Крымской астрофизической обсерватории, обнаружено присутствие поверхностных неоднородностей и проявление вращательной модуляции блеска. Анализ кривых блеска показал наличие малоамплитудной переменности с периодом 20.69 дней. Синхронные изменения блеска и показателя цвета $V - I$ указывают то на то, что найденный период является периодом вращения звезды, а вращательная модуляция блеска обусловлена наличием холодных пятен на ее поверхности. Амплитуда вращательной модуляции и фаза минимума сохраняются на интервале 40–60 дней. По фотометрии КраО и данным 2004 г. из каталога SWASP рассмотрено распределение поверхностных неоднородностей в разные эпохи. Согласно расчетам, выполненным в рамках зональной модели, пятна покрывают от 10% до 33% полной поверхности звезды, температура пятен 2700–2800 К при температуре спокойной фотосферы 3300 К.

**Ограничения на параметры солнечных супервспышек
по данным о космогенном радиоуглероде
в лунном реголите**

***Васильев Г.И.¹, Константинов А.Н.², Кудрявцев И.В.¹,
Мелихова Е.С.², Остряков В.М.², Павлов А.К.¹***

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург,
e-mail: gennadyivas@gmail.com

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого

В последнее время в годовых кольцах деревьев выявлены образцы с аномально высоким содержанием ^{14}C , которые интерпретируются как кратковременные (несколько лет) увеличения потока космических лучей на границе атмосферы. В большинстве публикаций предполагается, что такое увеличение происходило за счет сверхмощных солнечных вспышек. Другими возможными объяснениями могут быть аномальные возрастания потока Галактических космических лучей (ГКЛ) при прохождении Солнечной системой плотных межзвездных облаков, Галактические гамма-всплески, вспышки близких Сверхновых. Для согласования с наблюдаемым количеством образующихся в атмосфере Земли космогенных изотопов (^{14}C , ^{10}Be , ^{36}Cl) необходимо сделать предположение о том, что спектр протонов в солнечных супервспышках должен быть достаточно жестким по сравнению со спектрами большинства регистрируемых в настоящее время солнечных событий. Измерения содержания радиоуглерода в керне лунного реголита, доставленного экспедицией Аполлона-15, показывают, что до глубины 5 г/см² происходит заметное падение концентрации ^{14}C . Далее наблюдается постепенный рост с максимумом примерно при 100 г/см². Это объясняется тем, что ^{14}C в основном производится в ядерных реакциях с протонами ГКЛ, а солнечные космические лучи из-за их более мягкого спектра дают вклад в образование только в поверхностном слое реголита. Вычитание из общего глубинного хода образующегося изотопа вклада от ГКЛ позволяет оценить возможные потоки и спектры солнечных космических лучей в предполагаемых гипотетических сверхмощных событиях.

**Влияние солнечной активности на траектории
внетропических циклонов в Северной Атлантике:
новые данные**

Веретененко С.В., Дмитриев П.Б.

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

В данной работе продолжено исследование влияния солнечной активности на траектории внетропических циклонов в холодное полугодие (октябрь–март) в различных частях Северной Атлантики. Рассмотрены широтные изменения шторм-треков (преимущественных направлений движения циклонов) в области, расположенной к востоку от Гринвичского меридиана. Обнаружено, что вековые колебания широты шторм-треков (с периодами ~ 80 – 100 лет), наиболее четко выраженные в западной части Северной Атлантики (60 – 40°W), полностью пропадают в ее восточной части в области долгот 0 – 20°E , при этом в данном регионе доминируют мультideкадные колебания с периодами ~ 50 – 60 лет. Бидекадные колебания широты шторм-треков восточнее Гринвича также ослабевают по сравнению с областями долгот 60 – 40°W и 30 – 10°W . Проведено сопоставление широт шторм-треков в Северной Атлантике с индексами NAO (North Atlantic Oscillation). Показано, что в холодное полугодие индекс NAO испытывает колебания с периодами ~ 80 , ~ 40 и ~ 22 лет, аналогичные колебаниям широты шторм-треков. Предположено, что возможными причинами изменения траекторий циклонов являются изменения состояния стратосферного полярного вихря, обусловленные вариациями потока галактических космических лучей и геомагнитной активностью.

Широтная зависимость 22-летней вариации слабых магнитных полей

Вернова Е.С.¹, Тясто М.И.¹, Баранов Д.Г.²

¹СПбФ ИЗМИРАН, С.-Петербург, e-mail: elenavernova96@gmail.com

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург, e-mail: d.baranov@bk.ru

Исследованы вариации слабых магнитных полей фотосферы с периодами порядка 22-лет (магнитный цикл Солнца) по данным синоптических карт магнитного поля (NSO Kitt Peak, 1978–2016 гг.). С целью изучения слабых магнитных полей был установлен порог насыщения 5 Гс для синоптических карт, которые были объединены в общую диаграмму широта-время. На диаграмме выделены и проанализированы 18 временных профилей магнитного поля для различных широт. Временные зависимости усреднялись скользящим сглаживанием по 21 кэррингтоновскому обороту и аппроксимировались синусоидальной функцией, что позволило выделить в слабых магнитных полях циклическую компоненту с периодом около 22 лет (период магнитного цикла Хейла). Получена зависимость 22-летней вариации от широты. Кроме общеизвестного 22-летнего изменения околополярного поля были обнаружены аналогичные вариации для полей на всех широтах за исключением широт 26° и 33° в северном и 26° в южном полушарии. Эти интервалы средних широт отличались преобладанием короткопериодных вариаций. Амплитуда вариации уменьшалась от полюсов к экватору, при этом период вариации оставался почти постоянным ($T = 22.3$ года).

Долгосрчный прогноз Эль-Ниньо с учетом вариаций солнечной активности

Волобуев Д.М.¹, Макаренко Н.Г.¹

¹ ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: dmitry.volobuev@mail.ru

Явлением Эль-Ниньо называют фазу Южной Осцилляции, когда нагретый приповерхностный слой океана смещается к востоку. Полагают, что Эль-Ниньо является элементом глобального климата, вызывает экстремальные изменения погоды, влияет на здоровье (эпидемические заболевания) и качество жизни социума, связанного с океаном. Причины возникновения Эль-Ниньо до сих пор неизвестны, но по-видимому связаны с температурными режимами океанических течений, определяющих и Южную Осцилляцию. Динамику самого явления относят к классу детерминированного хаоса, режиму которого не исключают существования управляющих гиперпараметров. Мы предполагаем, что помимо внутренних климатических факторов, сценарии циркуляции океана могут контролироваться малыми изменениями полного потока излучения Солнца (TSI). Последние продуцируются вариациями солнечной активности, происходящими в 11-летнем цикле. Предварительные оценки показывают, что в приэкваториальных областях Земли возможна положительная обратная связь вариаций TSI с Эль-Ниньо с фактором усиления, порядка 10. Для тестирования связи, в данной работе мы прогнозируем среднемесячные значения индекса Эль-Ниньо Nino3,4 как без учета так и с учетом изменчивости TSI. Для предсказания мы используем рекуррентную нейросеть с глубоким обучением (LSTM) для данных Nino3,4 с 1880 года отдельно, и с учетом известной реконструкции TSI. Фактически, используется идея причинности по Грейнджеру, но с заменой линейного AR метода на LSTM. Мы обнаружили, что как ошибка обучения, так и ошибка прогноза Nino3,4 уменьшаются при добавлении TSI в качестве предиктора. Таким образом, TSI может оказаться полезным для улучшения прогноза динамических сценариев Эль-Ниньо. при построении современных нелинейных прогностических моделей глобального климата.

Parker's spiral and space weather

Georgieva K., Kirov B., Asenovski S.

*Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of
Sciences, Sofia, Bulgaria, e-mail: bkirov@space.bas.bg*

The influence of the solar wind on space weather strongly depends on the components of the solar wind's magnetic field and velocity. They are described by the model of Parker – the so called “Parker's spiral”. In situ observations have confirmed the general validity of the model, however some important deviations from the theoretical values have been identified. On short time-scales, the Parker's formula does not describe well the IMF components at the Earth's orbit during periods of large-scale interplanetary disturbances. On longer time-scales, some studies have found dependence of the deviations on the level of solar activity in the 11-year cycle. Our previous results based on data from 1965 to 2000 show that the differences between the calculated and measured IMF azimuthal components have a clear 22-year dependence on the solar polarity cycle, matching the 22-year periodicity in solar rotation rate rather than on the 11-year sunspot cycle. Here we extend our study with two more solar cycles and comment on the possibility of long-term predictions of the prevailing solar wind components influencing space weather.

**Особенности поля скоростей в активной области 12673,
связанные со вспышками 6 сентября 2017 года**

Головко А.А.

ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия, e-mail: golovko@iszf.irk.ru

Проведен анализ структуры и динамики поля доплеровских скоростей с их особенностями, коррелирующими с выявленными в работе [1] процессами в магнитном поле активной области 12673. Два основных центра активности в окрестности основной линии раздела полярностей проявляют себя динамичной перемежаемостью поля скоростей, а также 1-минутными всплесками и квазипериодическими пульсациями.

- [1] Головко А.А., Салахутдинова И.И. Особенности структуры и динамики активной области 12673, связанные со вспышками // Геомагнетизм и Аэрономия, 2023, № 7 (в печати).

**Яркостные температуры и электронные концентрации
сантиметрового излучения отдельных областей на
Солнце по данным наблюдений максимальной фазы
солнечного затмения 29.03.2006 года**

Голубчина О.А.

СПбФ САО РАН, e-mail: golubchina_olga@mail.ru

Наблюдение солнечного затмения 29.03.2006 г. выполнено в сантиметровом диапазоне длин волн на радиотелескопе РАТАН — 600. При обработке наблюдений использовалось моделирование радиоизлучения Солнца. В работе обсуждаются полученные физические характеристики отдельных областей радиоизлучения Солнца при прохождении Солнца и Луны через диаграмму направленности антенны РАТАН-600 во время максимальной фазы солнечного затмения ($\Phi = 0.998$). Обсуждаются результаты наблюдения открытого серпа западного лимба Солнца, полярной корональной дыры, протуберанца полярной области Солнца, активной солнечной группы пятен, восходящей из-за восточной части солнечного лимба.

**Статистические характеристики активных областей
и вспышечных лент, связанных с мощными вспышками**

Гонасюк О.С.

ФГБУН КрАО РАН, e-mail: olg@craocrimea.ru

Мы провели статистическое исследование различных характеристик активных областей (АО) и вспышечных лент, связанных с двумя типами вспышек: эруптивными, сопровождающимися выбросами корональной массы (СМЕ) и компактными, без СМЕ. Были отобраны вспышки класса M5 и выше, произошедшие с февраля 2011 г по декабрь 2022 г и находившиеся в интервале $\pm 40^\circ$ от центрального меридиана. Этим критериям соответствовало 60 вспышек, из которых 39 были эруптивными, а 21 компактными. Нами были использованы данные наблюдений SDO/AIA и SDO/HMI. Поток магнитного пересоединения во вспышке хорошо коррелирует с максимальным значением потока мягкого рентгеновского излучения GOES в диапазоне 1-8 Å как для компактных, так и для эруптивных вспышек. Для одного класса GOES в компактных вспышках, по сравнению с эруптивными, площадь вспышечных лент меньше в 2 и более раз, а средняя плотность магнитного потока в лентах выше. Статистически мы получили, что АО с компактными вспышками демонстрируют площади и беззнаковый магнитный поток примерно в два раза превышающие площади и магнитный поток АО с эруптивными вспышками. В тоже время, доля потока АО, участвующая в пересоединении, больше во вспышках с СМЕ. Продолжительность вспышки пропорциональна магнитному потоку пересоединения и площади вспышечных лент. Мы получили хорошую корреляцию между пиками производной потока мягкого рентгеновского излучения GOES и скорости магнитного пересоединения.

Влияние экзопланет на вспышечную активность звезд

Горбачев М.А.^{1,2}

¹*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым,
e-mail: mgorbachev17@gmail.com*

²*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань*

Вспышки являются наиболее яркими индикаторами магнитной активности звезд. В эпоху исследования экзопланет анализ вспышечной активности звезд-хозяев представляет большой интерес, поскольку вспышки могут оказывать существенное влияние на возможность формирования жизни. В работе представлены исследования, связанные с возможным влиянием экзопланет на вспышечную активность звезд. На основе базы данных экзопланет NASA, а также данных наблюдений обсерватории TESS, отобрано 1518 звезд с периодом обращения экзопланет до 30 суток. Анализ доступных кривых блеска с 120-секундным временным разрешением позволил выделить 471 вспышку на 60 звездах. Диапазон энергий зафиксированных вспышек лежит в пределах от 10^{30} до 10^{36} Эрг. Кроме того, обнаружено 77 симметричных кратковременных повышений блеска на 64 звездах, объясняемых прохождением по изображению звезд астероидов.

В работе исследована зависимость вспышечной активности от гравитационного потенциала, создаваемого планетами у звезд и другие параметры взаимодействия звезд и экзопланет. Делаются выводы о возможном влиянии экзопланет на вспышечную активность звезд.

**Возможны ли дополнительные источники протонов
в событиях с 4-ого по 10-ое сентября 2017 года?**

Григорьева И.Ю.¹, Шаховская А.Н.², Струминский А.Б.³

¹ *Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: irina.2014.irina@mail.ru*

² *Крымская Астрономическая обсерватория РАН, пгт. Научный,
Республика Крым, e-mail: anshakh@yandex.ru*

³ *Институт Космических Исследований РАН, Москва,
e-mail: astruminsky@gmail.com*

В конце 24-ого цикла солнечной активности первая декада сентября 2017 года преподнесла сразу несколько солнечных протонных событий (СПС) 4, 6, 7 и 10 сентября. В каталоге СПС указаны возможные их источники. Согласно нашим представлениям о последовательном проявлении в различных областях электромагнитного излучения процесса ускорения частиц (электронов и протонов) во вспышечной плазме активной области, мы проверяем указанные в вспышки-источники на предмет удовлетворения выработанным ранее критериям «протонности» солнечных вспышек. Если температура мягкого рентгеновского излучения (Т) вспышечной плазмы превысила 10(12) МК и держалась так более 5(2) мин, то протоны достигли энергий (Е) больших 100(200) МэВ. Если наблюдался жесткий рентгеновский всплеск с Е большими 100 кэВ более 5 мин, а на микроволнах регистрировался всплеск на частотах от 3 ГГц и выше такой же длительности, то это указывает на ускорение электронов с Е больше 100 кэВ. Наблюдение всплесков на частотах меньших 610 МГц (по данным RSTN) длительностью такой же как у микроволновых всплесков и с работой механизма излучения II, IV-типов свидетельствует о распространении возмущения вверх в корону. Ускорение коронального выброса массы, движущегося со средней скоростью 618 км/с, способствует ускорению протонов уже видимых энергий (Е более 300 МэВ), что в свою очередь, располагает к наблюдению гамма-излучения с Е более 100 МэВ. В работе проводится отбор и исследование солнечных вспышек-кандидатов в источники СПС с 4 по 10 сентября. Соответствие критериям электромагнитного излучения вспышек, указанных в каталоге СПС, подтверждает их причастность к источникам СПС. Несоответствие – ставит вопрос о новых моделях атмосферы Солнца для объяснения наблюдаемых эффектов, например, о гипотезе радиационных поясов в активной области для объяснения как вспышки-источники могли «накачать протонами» солнечную корону.

**О способе измерения кинетического параметра
электромагнитной добротности потока горячей
бесстолкновительной плазмы, формирующего
магнитосферы в космических и лазерных плазмах**

Губченко В.М.

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия,
e-mail: ua3thw@ipfran.ru*

Космическая (Макро) и лазерная (микро) горячие бесстолкновительные плазмы при разлетах формируют крупномасштабные электромагнитные структуры индукционного поля в виде магнитосфер, регулируемые от состояния «диполизации» до состояния «с хвостом» безразмерным параметром электромагнитной добротности. Данный параметр и сами структуры кинетической природы, т.е. зависят от формы функции распределения частиц потока плазмы, в основном от формы ее электронной компоненты, характеризуемой факторами асимметрии и анизотропии. Тогда параметр добротности определяется отношением этих факторов.

Определение этих двух факторов непосредственно из измерения формы функции распределения, по-видимому, не эффективно из-за сложности такой диагностики. Нами предлагается способ, основанный на непосредственном измерении импедансных характеристик $Z(RLC)$ идеального зонда, выполненного в виде идеально проводящей прямоугольной плоской сетки, пронизываемой перпендикулярным ей потоком плазмы. Это происходит при нахождении зонда в космосе в первой точке Лагранжа или при нахождении его в окрестности лазерной мишени. Z характеристики зонда, находящегося в трансформаторной связи с плазмой, в таких условиях вычисляются и функционально зависят от параметра электромагнитной добротности потока плазмы и форм факторов зонда, здесь размеров прямоугольника.

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.

**К истории Горной астрономической станции. Создание
Большого коронографа**

Гуляев Р.А.

ИЗМИРАН, Троицк, Москва

Кратко освещаются перипетии создания Большого внезатменного коронографа, установленного на Горной астрономической станции в 1966 году.

Идентичность вариаций АЕ и Аро индексов в 23-24 солнечных циклах

Гуляева Т.Л.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радиоволн им. Н.В. Пушкова, Москва,
e-mail: tam.gulyaeva@gmail.com*

Индекс авроральной электроструи, АЕ, является показателем геомагнитной активности в авроральной зоне. Он измеряется как мгновенное отклонение горизонтальной компоненты магнитного поля (H) от спокойного уровня. Сеть магнитометров для АЕ индекса располагается выше 60град магнитной широты в Северном полушарии. В ряде работ АЕ индекс используется для прогноза эффектов космической погоды, однако ряд числовых АЕ индексов ограничен на сайте Киото (<https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc/Sec3.html>) данными за март 2019 г (изменения АЕ после этого приводятся только в виде рисунков). Недавно предложен 1 ч геомагнитный Аро индекс, который измеряется на сети субавроральных магнитометров вблизи 60град магнитной широты, поставляющих данные для 3 ч Ар и Кр индексов. Данные Аро предоставляются на сайте в Потсдаме (<https://kr.gfz-potsdam.de/en/hr30-hr60>) в реальном времени, начиная с 1995 г. В работе представлены результаты сопоставления максимальных месячных значений АЕ и Аро индексов за 1995-2018 гг. Получено хорошее соответствие между двумя рядами данных с коэффициентом корреляции 0.77. Предлагается вывод прокси АЕ индекса из Аро индекса с учетом солнечной активности для моделей, основанных на АЕ индексе, а также вывод прокси Аро индекса из АЕ индекса за 1957-1994 гг. Учитывая близкое расположение источников данных для обоих индексов и близкое соответствие этих индексов в возмущенных условиях, можно рекомендовать Аро индекс в качестве управляющего параметра ионосферных моделей вместо АЕ индекса, а прокси Аро индекс использовать для ретроспективных исследований, начиная с 1957 г.

**Связь жесткости обрезания космических лучей
с параметрами солнечного ветра и магнитосферы
во время бури 9-10 ноября 2004 года:
анализ эффектов гистерезиса**

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

СПбФИЗМИРАН, Санкт-Петербург

Мы рассчитали вариации жесткости обрезания космических лучей ΔR во время сложного геомагнитного возмущения 9-10 ноября 2004 г. Расчеты были сделаны отдельно для всех фаз эволюции возмущения — предварительной, главной и восстановительной фаз бури. Найдено, что траектория ΔR , т.е. значения, которые принимают ΔR в зависимости от исследуемых параметров, во время главной фазы не совпадает с траекторией в восстановительной фазе, что является признаком гистерезиса. Неоднозначная зависимость ΔR от исследуемых параметров, которые изменяются циклически при развитии магнитосферных токовых систем и последующей их релаксации, ответственна за формирование петель гистерезиса. Исследованы особенности петель гистерезиса для связи ΔR с геомагнитными индексами, динамическими и магнитными параметрами солнечного ветра для исследуемого возмущения. В частности, получена конфигурация двух петель, аналогичных тем, которые характерны для диэлектрического гистерезиса.

Среднесрочные колебания солнечной активности и вариации геомагнитного поля

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*

Солнечная активность характеризуется изменчивостью в широком диапазоне периодов – от минут до тысячи лет. Наиболее известным является 11-летний цикл Швабе в числах солнечных пятен. Кроме того, в солнечной активности выделяются также короткопериодические вариации, в частности вариация с длиной ~ 27 дней, обусловленная синодическим периодом вращения Солнца. Колебания с периодами, лежащими между 27 днями и 11 годами, называются среднесрочными. К этому диапазону относятся вариации солнечной активности длительностью $\sim 5-6$ лет. В данной работе при помощи вейвлет-анализа мы выделили квазিশестилетние колебания в солнечной активности, выраженной числом солнечных пятен SN, и исследовали характеристики этих вариаций в 1700–2020 гг. Кроме того, выявлены аналогичные квазипериодичности в спектре переменного магнитного поля Земли на базе данных разноширотных магнитных обсерваторий. В работе обсуждаются природа и возможные причины появления квазিশестилетних колебаний. Мы рассмотрели возможную роль частотной модуляции цикла Швабе длинноволновым процессом в диапазоне периодов цикла Глейсберга в возникновении околосестилетних колебаний.

**Продолжительность климатических циклов
в течение последних миллионов лет, четвертичный
период и современные климатические аномалии**

Дергачев В.А.

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе,
г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: v.dergachev@mail.ioffe.ru*

Одной из наиболее сложных природных систем является климатическая система Земли, представляющая собой функцию взаимодействия суши, океанов, действующую через земную атмосферу. Свое влияние оказывают и вулканические выбросы. Как показывают исследования, естественный климат в прошлом циклически изменялся между теплыми и холодными состояниями. Прослеживаются циклы разного масштаба, которые определяются, в первую очередь, Солнцем, космосом и океаном. Примерно 3.5 млрд лет назад начала формироваться биосфера. Опираясь на данные климатических изменений в прошлом на интервале времен в миллиарды, сотни миллионов, десятки миллионов и тысячи лет, рассмотрено как менялись средние температуры на нашей планете в эти интервалы лет. Проанализированы данные по изменению глобальной температуры поверхности Земли в течение последних 700 млн лет, 150 млн лет и выделены периоды потеплений и похолоданий. Основное внимание уделяется установлению цикличности климатических изменений в четвертичный период (последние примерно 2.5 млн лет) как один из важнейших особенностей климатической системы, используемых для оценки как изменения отдельных компонентов окружающей среды в прошлом, так и для прогноза изменения климата в будущем. Периоды потепления способствовали бурному развитию растительного и животного мира. К началу четвертичного периода (около 2.5 млн лет) и растительный и животный мир стали довольно разнообразными, а границы биосферы приобрели очертания, близкие к современным. Человек современного вида сформировался от 150 до 300 тыс. лет назад. Отметим, что современный человек в течение последних около 2.5 млн лет в четвертичном периоде прошел долгий путь эволюции.

Обсуждается проблема окончания современного межледникового, которое продолжается уже более 11.5 тыс. лет, в то время продолжительность межледниковий в четвертичный период составляла примерно 11 тысяч лет. Следуя теоретическим предсказаниям, за окончанием современного межледникового скоро должно начаться похолодание. Следует обратить внимание, что с начала прошлого века средняя температура на нашей планете медленно росла, но на рубеже 70-80-х годов в Арктике, а в 90-х годах в Антарктиде начался быстрый рост температуры. И это не антропогенный рост, а естественный, поскольку в этих регионах вообще нет промышлен-

ности и нет антропогенных выбросов. Как отмечают климатологи, сейчас чаще стали происходить погодные аномалии: высокие и низкие температуры, ливневые осадки, грозы, ураганы, наводнения бьют многолетние рекорды. Волны тепла происходят всё чаще в Европе, Сибири. Поскольку средний глобальный уровень моря значительно начал повышаться в 1990-х годах, проведён анализ баланса массы ледяных щитов Гренландии и Антарктиды для оценки их вклада в глобальное повышение уровня моря.

Нелинейные акустические волны в солнечной короне

Дертеев С.Б., Сапралиев М.Е., Шивидов Н.К.,
Бембитов Д.Б., Михалеев Б.Б.

*Калмыцкий государственный университет имени
Б.Б. Городовикова, Элиста, e-mail: derteevsergey@mail.ru*

Солнечная корона служит ареной разного рода волновых процессов [1], весьма многочисленную часть которых составляют волны сжатия, интерпретируемые как медленные магнитозвуковые или акустические волны. Среди них выделяются стоячие продольные волны в горячих корональных петлях [2]. Помимо быстрого затухания они характеризуются нелинейным характером колебаний. Средствами корональной сейсмологии посредством них можно пытаться искать параметры вспыхивающих корональных петель.

При помощи функции радиационных потерь CHIANTI построена простая модель затухающих продольных волн в высокотемпературной плазме [3, 4], в которой учитывается также эффект теплопроводности. В нелинейном приближении изучено поведение продольных волн на широком интервале корональных температур и для различных значений плотности плазмы. Рассматриваются параметры теплых и горячих корональных петель. Изучается поведение волн при температурах, когда возможна радиационная неустойчивость акустических волн.

- [1] Nakariakov V.M., Kolotkov D.Y. // Annu. Rev. Astron. Astrophys. 2020, v. 58, p. 441.
- [2] Wang T.J., Innes D.E., Qiu J. // Astrophys. J., 2007, v. 656, p. 598.
- [3] Дертеев С.Б., Шивидов Н.К., Гаваев Б.С., Михалеев Б.Б. // XXVI Всероссийск. ежегод. конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика — 2022». 3-7 октября 2022 г. Сб. тезисов. СПб, ГАО РАН, с. 34.
- [4] Derteev S., Shvidov N., Bembitov D., Mikhalyaev B. // Physics, 2023, v. 5, p. 215.

Моделирование прохождения космических лучей через атмосферу Земли

Маурчев Е.А., Диденко К.А.

ИЗМИРАН, Москва, e-mail: maurchev@izmiran.ru

Основными частицами, входящими в состав первичных космических лучей (КЛ), являются протоны, их доля составляет до 90 %. Оставшаяся часть состоит из электронов и ядер с зарядовым числом Z больше или равно 2. Взаимодействуя с веществом атмосферы Земли, эти частицы испытывают серии взаимодействий (в основном, с атомами азота и кислорода), теряя свою энергию как на ионизацию, так и в ходе ядерных реакций, рождая при этом целые каскады вторичных частиц (электроны, протоны, нейтроны, каоны, мюоны, гамма-кванты и т.д.).

Современный подход к исследованию частиц вторичных КЛ в атмосфере Земли включает в себя как экспериментальные методы, так и численное моделирование. Нами был разработан модуль программного комплекса RUSCOSMICS, позволяющий производить расчет прохождения частиц через атмосферу Земли и детально изучать характеристики каскадов КЛ, в том числе оценивать параметры вторичного излучения. В работе приводятся пример расчета как для галактических КЛ, так и для солнечных КЛ. Показаны энергетические спектры вторичных частиц, их угловые распределения, а также суммарные потоки в зависимости высоты (глубины). Наряду с этим рассматривается расчет скорости ионизации и переход к значению эквивалентной дозы на высотах полета гражданских лайнеров. Демонстрируется возможность проведения верификации расчетов при помощи экспериментальных данных. Обсуждаются перспективы и дальнейшее развитие представленной методики.

**О характере вращения солнечной короны по
наблюдениям радиоизлучения Солнца (10.7 см)
на протяжении 19-24 циклов солнечной активности**

Дмитриев П.Б.

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

Благодаря систематическим ежедневным измерениям потока радиоизлучения Солнца с 1947 года по настоящее время, был введен индекс солнечной активности — интегрированное излучение от полного солнечного диска на частоте 2800 МГц (длине волны 10.7 см), которое измеряется в солнечных единицах потока (10^{-22} Вт·м⁻²·Гц⁻¹). В солнечном радиоизлучении выделяют три основные составляющие: «постоянную» — тепловое излучение от короны и хромосферы, «переменную» — от корональных конденсаций (уплотнений над большими группами солнечных пятен) и «кратковременную» — всплески длительностью от секунд до нескольких часов, вызванные вспышками в хромосфере. Поэтому данный индекс солнечной активности, отражающий интенсивность образования и эволюцию в атмосфере Солнца активных магнитных областей, можно использовать для исследования физических свойств солнечной хромосферы и короны.

При помощи метода построения комбинированной спектральной периодограммы были исследованы посуточные значения данного индекса (<http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/flux10.7/daily/>) на предмет наличия квазипериодических компонентов на протяжении последних шести (с 19-го по 24-й) солнечных циклов. Значения выявленных квазипериодов отражают как собственное вращение Солнца, так и средние времена «жизни» активных образований солнечной атмосферы. Особое внимание было уделено изучению временного изменения параметров выявленных квазипериодических компонентов на протяжении солнечных циклов путем построения выборочной оценки нормированной спектральной плотности исследуемых данных в скользящем временном окне величиной до года. На основе построенных таким образом динамических диаграмм изменения значений выявленных квазипериодов был сделан вывод, что корона на различных этапах солнечных циклов может проявлять свойства как «дифференциального», так и «твердотельного» вращения.

**Анализ параметров ионосферы по данным станции
вертикального зондирования авроральной зоны
за длительный период**

Долгачева С.А.

*Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт, С.-Петербург, e-mail: dolgacheva@aari.ru*

Выполнен анализ параметров ионограмм вертикального зондирования авроральной станции Диксон за 1967–1986 и 2013–2023 года методами статистического анализа. Проведено сопоставление между экспериментальными данными описания ионосферы в зависимости от номера солнечного цикла (20, 21 и 24). Выявлены особенности поведения параметров отдельных ионосферных слоёв в зависимости от индексов потоков солнечной энергии и геомагнитной активности. Выполнено сравнение результатов эксперимента с данными модели, которое показало необходимость коррекции входных параметров.

Особенности течения солнечного ветра в окрестности токовых слоев

Евдокимова М.А.¹, Хабарова О.В.^{2,3}, Кислов Р.А.^{2,4},
Малова Х.В.^{1,5}, Попов В.Ю.^{1,6,7}

¹ ИКИ РАН, Москва, e-mail: evdokimari@mail.ru

² ИЗМИРАН, Москва, Троицк, Россия

³ Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

⁴ Ariel University, Ariel, Israel

⁵ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия

⁶ Физический факультет МГУ, Москва, Россия

⁷ ВШЭ, Москва, Россия

В работе представлен анализ поведения скорости солнечного ветра в окрестности токовых слоев на орбите Земли по данным космического аппарата Wind с разрешением 3 секунды. Исследование проведено для 2000 г. (максимум солнечной активности) и 1997 г. (минимум солнечной активности). Токовые слои определялись по методике автоматической идентификации этого типа разрывов, описанной в [1]. В статистику вошли ~300000 слоев. Построенные гистограммы распределения компонент скорости солнечного ветра вне токовых слоев показывают стандартное распределение для всех компонент скорости. Вблизи токовых слоев наблюдается существенное смещение в отрицательную область для Y-компоненты (GSE), в то время как для X (GSE) и Z (GSE) компонент распределение близко к статистике вне токовых слоев. Детальный анализ показывает, что эффект в Y-компоненте скорости солнечного ветра соответствует формированию узкого потока плазмы в непосредственной окрестности токовых слоев приблизительно в направлении Паркеровской спирали к Солнцу.

Проведено сравнение полученных результатов с теоретическими предсказаниями модели [2], [3]. Изменение направления движения протонов является следствием эффекта квазиadiaбатического движения частиц в токовых слоях с нормальной компонентой магнитного поля. Потоки плазмы, распространяющиеся в X направлении от Солнца, внутри токового слоя разворачиваются в перпендикулярном направлении и текут в азимутальном (Y) направлении, обеспечивая усиление наблюдаемой гидродинамической скорости. Представлены видео моделирования процесса в 3D, подтверждающие эффект. Таким образом, влияние токовых слоев на движение частиц солнечного ветра проявляется на кинетических масштабах в ближайшей окрестности токовых слоев.

- [1] Khabarova O., Sagitov T., Kislov R., Li G. Automated Identification of Current Sheets—A New Tool to Study Turbulence and Intermittency in the Solar Wind // *Journal of Geophysical Research: Space Physics.*, 2021, v. 126, doi: 10.1029/2020JA029099.
- [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
- [3] Малова Х.В., Попов В.Ю., Хабарова О.В., Григоренко Е.Е., Петрукович А.А., Зеленый Л.М. Структура токовых слоев с квазиadiaбатической динамикой частиц в солнечном ветре, *Космические Исследования*, 2018, Т. 56, № 6, с. 451-460,

**Вариации скорости солнечного ветра (microstreams)
в околоземном пространстве
и в удаленных областях гелиосферы**

Ерофеев Д.В.

*Институт прикладной астрономии РАН, С.-Петербург,
e-mail: dve_08@mail.ru*

Исследуются микропотоки (microstreams) — возрастания скорости течения солнечного ветра (СВ) величиной до нескольких десятков км/с, с временным масштабом порядка суток. Используются измерения параметров СВ вблизи орбиты Земли, а также измерения, сделанные КА Ulysses в разных областях гелиосферы. Для анализа данных применены метод расчета спектров когерентности и метод наложенных эпох.

Продлан сравнительный анализ микропотоков, имеющих место в быстром СВ вблизи орбиты Земли, и в потоках СВ, наблюдавшихся КА Ulysses в средне- и высокоширотных областях гелиосферы вблизи минимумов активности, на расстояниях 2 — 4 АЕ. Сравнение показало близкое подобие свойств микропотоков в указанных областях гелиосферы. Найдено, что поперечная (тангенциальная) компонента скорости VT изменяется пропорционально изменению радиальной компоненты скорости VR (максимумам VR соответствуют максимальные отклонения потока к востоку). Изменения других параметров СВ (температуры и плотности плазмы, магнитного давления) сдвинуты по времени относительно максимумов VR. Сдвиги отчасти соответствуют известной схеме взаимодействия потоков (уплотнение на переднем фронте потока и разрежение на заднем фронте), но имеется также дополнительные зависимости параметров от VR, по-видимому отражающие их вариации в теле потока и не связанные с взаимодействием потоков.

Сравнение вариаций скорости СВ, наблюдавшихся в низкоширотной зоне гелиосферы на расстояниях 1 АЕ и 5 АЕ, показало их существенное отличие. В отличие от околоземной области гелиосферы, вариации скорости СВ на расстоянии 5 АЕ не связаны с регулярной последовательностью уплотнений и разрежений плазмы, а также не показывают какой-либо связи между вариациями компонент VR и VT.

**Долгопериодические колебания основных параметров
солнечного пятна**

Живанович И., Соловьев А.А., Миллер Н.О.

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: ivanzhiv@live.com*

Разработан алгоритм автоматического построения длительных (до 9 дней) численных временных рядов изменений основных параметров солнечных пятен. К таковым относятся: напряженность магнитного поля в центральной части пятна, площадь и яркость тени пятна, напряженность и наклонение магнитного поля на границе «тень-полутень».

Антифазный характер изменения магнитного поля и площади тени пятна свидетельствует о вертикальных смещениях пятна с периодами от 15 до 30 часов.

**Циклические вариации регулярных и нерегулярных
активных областей в северном и южном полушариях
в 23-м и 24-м циклах**

Жукова А.В.

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

Обновленная версия каталога магнито-морфологических классов активных областей КрАО (<https://sun.crao.ru/databases/catalog-mmс-ars>) была использована для изучения 3047 активных областей (АО) с мая 1996 г. по декабрь 2020г. В соответствии с магнито-морфологической классификацией АО КрАО [1, 2], все АО (кроме одиночных пятен) были распределены между двумя классами: регулярные биполярные АО (следующие эмпирическим законам для групп солнечных пятен) и нерегулярные АО (все остальные).

Анализ временных изменений количества и общего беззнакового магнитного потока АО показал, что все наблюдаемые тенденции выражены ярче для магнитных потоков. В каждом из полушарий (относительно экватора) оба типа АО демонстрируют многопиковую структуру. Двупиковая структура цикла (как целое) формируется группами в обоих полушариях совместно. Наблюдаемые для каждого типа АО пики в разных полушариях не всегда синхронизированы.

Скачки абсолютного индекса асимметрии, $N - S$, более резки для нерегулярных АО. Одной из возможных причин может быть ослабление тороидального поля в каком-либо полушарии из-за взаимодействия дипольной и квадрупольной составляющих глобального магнитного поля [3]. Можно предположить, что чем слабее тороидальное поле, тем сильнее влияние турбулентности на всплывающие магнитные трубки АО в конвективной зоне, тем большее количество нерегулярных АО появляется на диске в данном полушарии.

Автор благодарит В.И.Абраменко за ценные замечания и Р.А.Биктимирову за предоставленные данные по 23-му циклу.

- [1] Abramenko V.I., Zhukova A.V., Kutsenko A.S. // *Geomagn. and Aeron.*, 2018, v. 58, p. 1159.
- [2] Abramenko V.I. // *MNRAS*, 2021, v. 507, p. 3698.
- [3] Zhukova A.V., Sokoloff D.D., Abramenko V.I., Khlystova A.I. // *Adv. Space Res.*, 2023, v. 7, p. 1984.

**Исследование свойств энтропийных и медленных
магнитоакустических волн в горячих корональных
петлях в сильном магнитном поле**

**Завершинский Д.И.^{1,2}, Молевич Н.Е.^{1,2}, Ряциков Д.С.^{1,2},
Белов С.А.^{1,2}, Фролова А.С.¹**

¹Самарский университет, Самара, e-mail: dimanzav@mail.ru

²СФ ФИАН, Самара

В данной работе исследовались свойства энтропийных и медленных магнитоакустических волн внутри горячих корональных петель. Для анализа нами было использовано точное аналитическое решение эволюционного уравнения, описывающего поведение волн в первом порядке малости теории возмущений. Эволюционное уравнение было получено на основе исходной системы магнитогазодинамических (МГД) уравнений, в рамках приближения бесконечно сильного магнитного поля. В данной работе авторы рассматривали достаточно короткие периоды волн, для которых эффект дисперсии, определяемый процессами нагрева и радиационного охлаждения пренебрежимо мал. Иными словами дисперсионные свойства энтропийных и медленных магнитоакустических волн определялись в основном процессом теплопроводности. В работе исследовалось распределение полной энергии между медленными магнитоакустическими волнами и энтропийной волной вместе составляющие наблюдаемое возмущение сжатия. Показано, что вне зависимости от типа начального возмущения, с ростом длины и плотности петли количество энергии приходящееся на энтропийную волну растёт, а количество энергии в медленной волне убывает. В частности, в корональных петлях в активных областях с длинами порядка ~ 100 Мм, концентрацией $\sim 10^{10}$ см⁻³ и температурой ~ 3 МК, в возмущениях изобарического типа порядка 80 процентов исходной энергии приходится на энтропийную волну. В подобных случаях использование колебаний для диагностики плазмы может приводить к существенным ошибкам в оценках.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-10008, <https://rscf.ru/project/23-22-10008/> и Правительства Самарской области.

**Оценка влияния размеров и положения солнечных
пятен относительно источника мощного взрывного
процесса в Активной Области на параметры
магнитного поля в тени пятен**

Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Москва, Троицк*

В серии работ авторы показали, что взрывные процессы (вспышки, формирование корональных выбросов массы) в активных областях могут оказывать существенное влияние на свойства магнитного поля в тени солнечных пятен, формирующих эти активные области. В данной работе на примере трех событий мы попытались оценить особенности отклика магнитного поля в тени пятен в зависимости от размеров пятен и их положения относительно места солнечной вспышки. Анализировалось влияние взрывного процесса на минимальный α_{min} и средний $\langle \alpha \rangle$ в пределах тени угол между направлением поля и радиальным из центра Солнца направлением, а также на максимальное B_{max} и среднее $\langle B \rangle$ значение магнитной индукции в пределах тени. Предварительный анализ показал, что наибольшую долю из всех пятен, в которых взрывной процесс оказал наиболее сильное влияние на α_{min} и средний $\langle \alpha \rangle$, составляют пятна наименьших размеров (пятна с вырожденной полутенью) и наиболее близко расположенных к месту вспышки. Соответственно, в пятнах, в которых взрывной процесс слабо воздействовал на углы α_{min} и средний $\langle \alpha \rangle$, наибольшую долю составили пятна с наибольшими размерами. Что касается пятен, в которых наблюдалось сильное воздействие взрывного процесса на B_{max} и $\langle B \rangle$ доли малых, больших и расположенных вблизи вспышки пятен оказались близкими с небольшим в некоторых событиях увеличением доли малых и расположенных вблизи вспышки событий. В пятнах, в которых воздействие взрывного процесса на B_{max} и $\langle B \rangle$ было слабым, доли пятен с малыми и большими размерами, а также расположенных вблизи вспышки оказались близкими.

**Быстрые электроны в плазмосфере
экзопланеты HD 189733b**

*Зайцев В.В., Шапошников В.Е., Кузнецов А.А.,
Симонова Т.В.*

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород,
e-mail: za130@ipfran.ru*

По аналогии с механизмом ускорения, реализующимся в системе Юпитер-Ио, обсуждается механизм ускорения электронов в плазмосфере экзопланеты HD 189733b, в условиях, когда поток набегающего звездного ветра достигает области атмосферы, в которой существует достаточное количество нейтральных частиц. При этом разная частота столкновений звездных электронов и ионов с нейтралами обеспечивает разделение зарядов в набегающем потоке и возникновение электрического поля разделения зарядов. Обращено внимание на важную роль анизотропии проводимости атмосферной плазмы в указанном процессе, приводящем в конечном итоге к возникновению мощного электрического поля, имеющего проекцию на направление магнитного поля и являющегося причиной ускорения электронов. Приведена оценка характерных энергий и потоков ускоренных электронов для экзопланеты HD 189733b. Обсуждаются возможности указанного механизма ускорения с точки зрения возникновения плазменной неустойчивости в атмосфере экзопланеты и генерации необходимого для регистрации на Земле потока радиоизлучения.

**Собрание зарисовок и восстановленных солнечных
данных 1610–1720 годов**

Золотова Н.В.¹, Возмянин М.В.²

¹ *Санкт-Петербургский Государственный Университет,
Санкт-Петербург, e-mail: n.zolotova@spbu.ru*

² *Space Climate Group, Space Physics and Astronomy Research Unit,
University of Oulu, Oulu, Finland, e-mail: mikhail.vokhmianin@oulu.fi*

В работе рассказывается о создании открытой базы данных исторических зарисовок солнечных пятен в период XVII — начала XVIII веков, охватывающей минимум Маундера. Представлены методики восстановления прямоугольной и гелиографической координатных сеток и способы извлечения солнечных параметров. Будет рассказано о планах развития базы данных. Представлены основные направления использования создаваемого каталога.

Связь длины и амплитуды 11-летних циклов для тысячелетнего ряда пятенного индекса

Иванов В.Г.

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

В недавней работе Усокина и др. [1] был реконструирован ряд пятенного индекса солнечной активности за 971–1899 годы, имеющий годовое разрешение, что позволяет исследовать детали 11-летнего цикла активности.

В данной работе мы, с помощью этого ряда, изучаем известное «правило длина-амплитуда» (ПДА), согласно которому длина цикла от минимума до минимума антикоррелирует с амплитудой следующего цикла [2, 3]. Мы показываем, что, начиная примерно с XIV века, в ряде активности выделяются два режима:

- 1) Эпохи нормальной активности, в которые ПДА выполняется;
- 2) Эпохи глобальных минимумов активности (Маундера, Шпёрера и Вольфа), в которые амплитуда слабо связана с длиной цикла.

До XIV века связь между длиной и амплитудой циклов и её привязка к уровню глобальной активности Солнца выделяются в реконструированном ряде менее уверенно, что, возможно, является следствием неточности определения параметров 11-летних циклов в эту эпоху.

- [1] Usoskin I., Solanki S.K., Krivova N.A. et al. // *Astron. Astrophys.*, v.649, A141 (2021). // *A&A*, 2021, v. 649, iss. A141.
- [2] Chernosky E.J. // 1954, *Publ. Astron. Soc. Pac.*, 1954, v. 392, pp. 241–247.
- [3] Ivanov V.G. // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2021, v. 61, No. 7, pp. 1029–1034.

Солнечный ветер и параметры корональных дыр

Илларионов Е.А.¹, Березин И.А.², Тлатов А.Г.²

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва,
e-mail: egor.illarionov@math.msu.ru

²ГАС ГАО РАН, Кисловодск

Мы представляем каталог свойств корональных дыр (КД) по данным наблюдений SDO/AIA за период 2010–2023 гг. (<https://observethesun.com/>). Для идентификации КД мы применяем калибровку исходных ежедневных изображений в линии 193 Ангстрем и процедуру выращивания областей. Связь между параметрами КД и скоростью солнечного ветра (СВ) изучается по данным космической обсерватории ACE. Главная особенность нашего исследования заключается в том, что вместо изучения отдельных КД и их связи с СВ, мы рассматриваем весь период 2010–2023 годов, усредняем свойства КД и скорости СВ по скользящим окнам на временной оси и рассматриваем корреляцию между ними. Мы обнаружили, что хотя корреляция между усредненной площадью КД и СВ достаточно низкая (0.26), ограничение КД на низкоширотную область ($\pm 30^\circ$) увеличивает корреляцию до 0.68. Если дополнительно использовать относительную интенсивность КД, то можно получить еще более высокую корреляцию – 0.77. Широтная и долготная протяженность КД, напротив, не увеличивает корреляцию с СВ из-за высокой корреляции с площадью КД. Наше исследование показывает, что корреляция КД и СВ является возможным критерием для оценки результатов работы алгоритмов идентификации КД.

Работа поддержана грантом РФФ № 23-22-00165.

Текущий 25 цикл солнечной активности в преддверии фазы максимума

Ишков В.Н.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радио волн имени Н.В. Пушкова, Москва, Троицк,
e-mail: ishkov@izmiran.ru*

На октябрь 2023 г. развитие текущего 25 солнечного цикла подходит к фазе максимума, начало которой можно ждать в сентябре 2023 г., а саму точку максимума, если судить по развитию фазы роста, в июне-августе 2024 г. $W^* = 120 \pm 10$ (200 ± 17 в системе V2. Точку минимума текущего цикла следует ожидать в первой половине 2031. С января 2009 г. Солнце вступило во вторую, с начала достоверных наблюдений, эпоху пониженной солнечной активности (СА), когда в течение ~ 55 лет мы не будем наблюдать высоких ($W^* > 145$) циклов СА. Эта эпоха началась с низкого 24 цикла, а с января 2020 г. начался текущий 25 цикл и темп его развития на конец августа 2023 г. (37 месяцев — $W^*_{\text{январь 23}} = 068$ (113) всё более соответствует ходу развития циклов средней величины. С началом текущего СЦ25 мы впервые получили возможность получать практически полный наблюдательный материал по различным проявлениям СА цикл средней величины эпохи пониженной СА, с пониженными фоновыми значениями общего магнитного поля Солнца, которые полностью определяют эпоху СА, либо повышенную, либо пониженную.

За рассматриваемый период СА прошла полуфазу минимума ветви роста, длительность которой составила почти 2 года, что является рекордом для СЦ средней величины и вступила в фазу роста текущего 25 СЦ. К концу августа 2023 г. на видимом диске Солнца наблюдалось не менее 757 групп пятен. Первая устойчивая (7 сут) группа пятен образовалась 24.01.2020 г., а следующая только 17.10.2020 г. С 12.04.2021 г. группы пятен наблюдаются постоянно. Особенно быстрый рост относительного числа солнечных пятен наблюдался с началом 2023 г., когда резко увеличилось число вспышечно-активных групп пятен и, соответственно, число вспышечных событий средних и больших баллов. Если за первые 3 г. осуществилось 179 вспышек рентгеновского класса M(1-4.9), 37 — класса M5-M9.9 и 8 класса X, то за неполный 2023 г. их реализовалось 252, 26 и 11, соответственно. Количество солнечных протонных событий с потоками частиц > 1 pfu за одинаковый период развития последних 3 циклов, текущий солнечный цикл значимо (50 СПС) превосходит СЦ24 (40) и в два раза СЦ23 (24), что является рекордом по их количеству за всю историю наблюдений солнечных протонов. Это позволяет сделать вывод о сохранении облегчённого выхода протонов во вспышечных событиях, как и наблюдалось в СЦ24. В геомагнитном поле зарегистрированы 60 магнит-

ных бурь: 3 большие и 16 умеренных. При сравнении СЦ 23–25, текущий 25 является промежуточным вариантом между СЦ 23 и 24, но ближе к СЦ 24. Это говорит о том, что СЦ 25 по темпу осуществления солнечных активных явлений более близок к СЦ24, хотя и опережает его по всем проявлениям СА (эпоха пониженной СА), но значительно меньше, чем СЦ 23 - переходный от эпохи повышенной СА к эпохе повышенной.

**Особенности вспышечного энерговыделения текущего
25 солнечного цикла: вспышечно-активные
группы пятен**

Ишков В.Н.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радио волн имени Н.В. Пушкова, Москва, Троицк,
e-mail: ishkov@izmiran.ru*

На примере реализации вспышечных событий больших и средних рентгеновских классов рассмотрены группы пятен — генераторы вспышечных событий больших и средних баллов текущего 25 солнечного цикла (СЦ), которых к концу августа 2023 г. (44 мес.) наблюдалось 24, поровну в каждом полушарии. На соответствующий период СЦ24 появилось всего 15 таких групп пятен — 10 в северном полушарии и 5 в южном, но в СЦ24 наблюдалась группа пятен, в которой осуществилось 4 вспышечных события рентгеновского класса X, в то время как в текущем СЦ наблюдалось лишь группы пятен с двумя вспышками класса X, а максимальный рентгеновский класс вспышечных событий был X2.2. Эпоха пониженной солнечной активности (СА) накладывает свои ограничения на реализацию больших вспышечных событий, что наблюдалось в прошедшем 24 цикле, когда за 11 лет уменьшилось количество и вспышечная продуктивность таких активных областей — не осуществилось не только экстремальных, но и очень больших вспышечных событий, кроме событий сентября 2017 г. и, соответственно, солнечных протонных событий, а в околоземном космическом пространстве магнитных бурь такой мощности. Так как текущий СЦ реализуется как цикл средней величины, можно надеяться на значительное усиление мощности активных явлений на фазе спада, и тогда можно будет оценить верхний предел уровня вспышечной активности для средних СЦ эпохи пониженной СА.

Текущий цикл СА вызывает особенный интерес, так как это первый СЦ средней величины эпохи пониженной СА, вспышечную активность которого, мы можем исследовать современными наземными и космическими наблюдениями, что, возможно, позволит сделать следующий шаг в развитии прогноза геоэффективных вспышечных событий. В настоящее время такой прогноз ограничивается прогнозом периодов вспышечного энерговыделения, за который в данной АО произойдут практически все значимые вспышечные события. По наблюдениям новых значимых всплывающих магнитных потоков эти периоды можно прогнозировать за 0.5-2 суток в зависимости от мощности и скорости всплывания новых всплывающих магнитных потоков. Сам период длится достаточно ограниченный интервал времени, обычно (55 ± 30 час.). Скорость всплывания новых магнитных потоков определяет характер их взаимодействия с магнитными полями

родительских активных областей — пойдет ли привнесенная ими энергия на образование новых пятен, увеличивая площадь и количество пятен в данной активной области - для сравнительно медленно всплывающих магнитных потоков (эволюционный характер взаимодействия), или приведет к вспышечному взаимодействию магнитных полей вновь всплывшего и существующего в родительской группе пятен — для быстрых всплывающих магнитных потоков.

**Расчет спектра магнитостатической модели волокна
для центра диска Солнца**

Калинин А.А., Калинина Н.Д.

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

В данном сообщении сделана попытка промоделировать спектр протуберанца на основе магнитостатической модели, описанной в [1]. В ней рассчитываются термодинамические параметры двумерной модели протуберанца. В нашем случае мы поставили задачу опробовать возможность построения модели атмосферы для расчета спектра, допускающей применение известных программ переноса излучения (на первом этапе одномерных). Рассчитан спектр в линиях водорода для вертикального сечения МГС модели, что соответствует спектру холодного волокна, лежащего горизонтально над поверхностью Солнца и, согласно [1], имеющего под собой горячее менее плотное волокно. В дальнейшем планируется обобщить данную методику для двумерных задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № FEUZ-2023-0019.

- [1] Solov'ev A.A. Geomagnetism and Aeronomy, 2012, Vol. 52, No. 8, pp. 1062–1069.

**Влияние коротирующих областей взаимодействия
солнечного ветра на интенсивность ГКЛ
в 2D задачах модуляции**

Калинин М.С., Крайнев М.Б.

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва,
e-mail: kalininms@lebedev.ru*

Наблюдения гелиосферных характеристик, а также результаты МГД расчётов для распределения скорости солнечного ветра (СВ) и магнитного поля в гелиосфере (ГМП) указывают на наличие квазистационарных глобальных коротирующих областей взаимодействий (КОВ) с сильно изменёнными характеристиками, важными для долгопериодических вариаций интенсивности ГКЛ. Наличие областей с усиленным магнитным полем во внутренней ($r < 1-5$ а.е.) и сильным его ослаблением в средней и дальней гелиосфере, а также сильное сплющивание гелиосферного токового слоя (ГТС) указывают на возможное повышение интенсивности ГКЛ практически во всей гелиосфере [1, 2]. Учёт влияния таких установившихся 3D распределений ГМП и СВ на долговременные вариации интенсивности ГКЛ путём решения 3D уравнения модуляции методом конечных разностей затруднителен вследствие сильной пространственной неоднородности таких распределений.

В работе [3] для кэррингтоновского оборота 2066 (начало 2008 г.), когда наблюдались КОВ [2], в рамках простой 2D модели гелиосферы, когда на внутренней границе (~ 0.1 АЕ) ставились стационарные усреднённые по долготе значения СВ и ГМП, — граничные условия для МГД задачи, а далее СВ свободно распространялся без взаимодействия, решалось уравнение модуляции для интенсивности ГКЛ.

В данной работе, используя те же усреднённые по долготе результаты МГД моделирования, учтена существенная для задач модуляции деформация ГТС на разных радиальных расстояниях от Солнца.

- [1] Luo X., Zhang M., Feng X., et al. A numerical study of the effects of corotating interaction regions on cosmic-ray transport, // *Astrophys. J.*, 2020, v. 899, p. 90.
- [2] Крайнев М.Б., Калинин М.С. и др. О проявлении коротирующих областей взаимодействия солнечного ветра в вариациях интенсивности ГКЛ // *Солнечно-земная физика*, 2023, Т. 9, № 1, С. 3–18.; DOI: 10.12737/szf-81202201
- [3] Калинин М.С., Крайнев М.Б., Луо С., Подгитер М.С. О влиянии коротирующих областей взаимодействия солнечного ветра на долговре-

менные вариации интенсивности ГКЛ // Геомагнетизм и аэрономия,
2023, Т. 63, № 5, С. 1–11

**Моделирование спектра радиоизлучения надпряженного
источника с квазипериодической структурой
магнитного поля**

Кальтман Т.И., Овчинникова Н.Е., Лебедев М.К.

*Специальная астрофизическая обсерватория, Санкт-Петербург,
e-mail: arles@mail.ru*

Радиоизлучение солнечных активных областей определяется структурой сильных магнитных полей солнечной короны. Новые возможности РАТАН-600 для наблюдений солнечных спектров с высоким спектральным разрешением в диапазоне 1–18 ГГц позволяет выявлять тонкие спектральные эффекты и на их основе диагностировать особенности магнитной структуры активных областей.

В докладе представлены модельные расчеты эффектов влияния квазипериодической структуры магнитного поля на спектр солнечного надпряженного источника. Рассчитывался спектр циклотронного излучения модельного источника с заданным магнитным полем в дипольной аппроксимации. Затем добавлялись периодические вариации магнитного поля (отклонения от начального распределения с различными амплитудами и шагом по высоте), что вызывало соответствующие квазипериодические отклонения в частотном спектре. При моделировании была учтена уточненная диаграмма РАТАН-600. Показано, что задаваемые параметры периодических изменений магнитного поля определяют добавочный периодический спектральный тренд и его характеристики (амплитуду и шаг по частоте). Таким образом, волнообразный спектр может свидетельствовать о наличии колебаний магнитной структуры активной области на корональных высотах, соответствующих гирорезонансным уровням диапазона частот, на которых наблюдается колебание спектра. Данное моделирование может быть использовано для интерпретации соответствующих наблюдательных эффектов.

Циклы активности звёзд и экзопланеты: поиск связей

Кацова М.М.¹, Обридко В.Н.², Соколов Д.Д.^{3,2}

¹ ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва,
e-mail: mkatsova@mail.ru

² ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Москва,
e-mail: obridko@mail.ru

³ Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,
e-mail: sokoloff.dd@gmail.com

Продолжен поиск связи долговременной активности звёзд с их планетами. С этой целью данные о рассмотренных ранее F G и K звёздах с выявленными циклами дополнены результатами анализа циклической активности 15 более холодных M звёзд, у которых подтверждено существование экзопланет. Периоды обращения экзопланет сопоставлены с долговременными изменениями активности связанных с ними звёзд. Оценено гравитационное воздействие планеты на родительскую звезду. Подтверждается полученный нами ранее вывод об отсутствии связи между гравитационным влиянием экзопланет и циклом звезды. Есть основания полагать, что планета не вызывает цикл на звезде, но сильное её гравитационное воздействие может влиять на его регулярность и даже полностью устранить цикличность звёздной активности. Кроме того, возможно, оно проявляет себя как внешнее воздействие, модулирующее амплитуду (высоту) цикла.

Нелокальные эффекты солнечных затмений

Кириллов А.К.¹, Василенко Т.А.²

¹ ГБУ ДО ЦДЮТТ Кировского района Санкт-Петербурга, Россия,
e-mail: kirillov1953@inbox.ru

² Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург,
Россия

Воздействие солнечных затмений на земную атмосферу проявляется в изменении степени ионизации ионосферы, а также температуры и давления воздуха в тропосфере на различных уровнях вследствие движения лунной тени вдоль поверхности Земли с сверхзвуковой скоростью. Формирование ударного фронта на границе тени приводит к генерации атмосферной гравитационной волны (АГВ). Попытки обнаружения подобных волн является достаточно сложной задачей, поскольку АГВ существуют в атмосфере и вне периодов солнечных затмений. Тем не менее, такие процессы удается наблюдать, в том числе, при микробарометрических и электрофизических измерениях у поверхности Земли.

В докладе представлены результаты исследования 12 солнечных затмений за период 2006-2023 годы. Приводятся данные зондирования ионосферы в день затмения и ближайшие к нему. В зависимости от удаленности полосы полного затмения стандартные отклонения высоты действующего слоя ионосферы F2 и критической частоты f_0F_2 могут не выполняться. Следует учитывать также уровень возмущенности факторов солнечной погоды. Рассмотрены временные ряды температуры протонов солнечного ветра с разрешением 1 мин по данным солнечных обсерваторий ACE и DSCOVR, а также показания нейтронного монитора станции космических лучей OULU (Финляндия), имеющиеся в свободном доступе. Основной метод анализа: вычисление функций спектральной плотности и выявление спектральных компонент, близких к периодам распространения волновых процессов в период прохождения полосы затмения по поверхности Земли. Контролем для вывода об изменении спектров мощности во время затмения служили такие же данные для ближайших дат и временных отрезков внутри суток, а также публикации других авторов, где получены подтверждения влияния солнечного затмения на распространение волновых процессов при их генерации на границе тени Луны с указанием периодов этих волн. Наиболее полное исследование этого явления представлено в [1] для солнечного затмения 21 августа 2017 года, где использовались измерения 2000 GPS станций, расположенных на территории Северной Америки.

Основные выводы: 1. Эффекты солнечных затмений в ионосфере наблюдаются даже, если полоса полного затмения проходит в самых удаленных от ионосферной станции регионах планеты. Реакция ночной и дневной ионосферы может отличаться от общепринятых представлений о вариации

действующей высоты и критической частоты ионосферного слоя. 2. Метод спектрального анализа позволяет обнаружить периодические составляющие возмущений, вызванных прохождением полосы затмения, используя временные ряды температуры протонов солнечного ветра и данные нейтронного монитора.

- [1] Zhang Sh-R. et al. // Geophysical Research Letters, 2017, 44, 12,067–12,073.

The relationship between sunspot numbers and coronal mass ejections within an 11-year solar cycle

Kirov B., Georgieva K., Asenovski S.

Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria, e-mail: bkirov@space.bas.bg

This scientific paper investigates the relationship between sunspot numbers and coronal mass ejections (CMEs) occurring within an 11-year solar cycle. The study analyzes observational data obtained from various space-based and ground-based solar monitoring instruments. Statistical analysis techniques are applied to explore potential correlations and patterns between sunspot numbers and CME occurrence. The findings suggest a significant link between these two solar phenomena, providing valuable insights into the complex dynamics of the Sun's activity.

Природа коротации с Солнцем и спиральной формы высокоскоростных потоков из корональных дыр

Кислов Р.А.^{1,2}, Кузнецов В.Д.¹

¹*ИЗМИРАН, Россия, Москва, Троицк, e-mail: kr-rk@bk.ru*

²*Ариэльский университет, Израиль, Ариэль,
e-mail: rotanki@ariel.ac.il*

Высокоскоростные коротающие потоки из корональных дыр (ВПКД) начиная с момента своего обнаружения в начале 1970-ых годов известны как спиральные структуры, вращающиеся вокруг оси Солнца с приблизительно той же частотой, что и материнская корональная дыра. Существует немало МГД-моделей, описывающих ВПКД и согласующихся с наблюдениями. Однако они не дают прямого ответа на вопрос — каким образом ВПКД коротает с источником? Этот вопрос принципиален, поскольку за пределами альфвеновской поверхности, которая в гелиосфере расположена между 5 и 20 радиусами Солнца, магнитное поле становится слишком слабым, чтобы поддерживать коротацию плазмы и Солнца. В данной работе показано на основе *in situ* данных аппарата ACE, что измеряемая азимутальная компонента скорости плазмы на орбите Земли на порядок величины меньше, чем скорость твердотельного вращения солнечного ветра, определяемая по величине угловой скорости вращения источника на Солнце. Чтобы объяснить колоссальное расхождение между видимым движением структуры и составляющей её в рассматриваемый момент плазмы, была построена кинематическая модель ВПКД. В рамках модели оказывается, что ВПКД в каждый момент времени состоит из разных частиц, выпущенных в разные моменты времени в различных направлениях одним и тем же вращающимся источником. Таким образом видимая коротация ВПКД как структуры объясняется тем, что скорость солнечного ветра преимущественно радиально направлена, поэтому вещество из корональной дыры приходит к наблюдателю тогда, когда дыра направлена на наблюдателя, а это происходит один раз за период обращения Солнца вокруг своей оси. Это противоречит распространённому некорректному представлению, согласно которому поток вращается как твёрдое тело синхронно с источником. Спиральная форма ВПКД определяется положением частиц, вышедших из одной и той же части корональной дыры в разные моменты времени. Таким образом, движение ВПКД и его форма имеют простую кинематическую природу. Кинематическая модель допускает МГД-обобщение. С его помощью показано, что волны полного МГД и теплового давления, возникающие в областях больших градиентов скорости могут вращаться синхронно с кинематической структурой.

**Приповерхностный слой неоднородного вращения
Солнца: происхождение и значение для динамо**

Кичатинов Л. Л.

*Институт Солнечно-Земной физики СО РАН, Иркутск,
e-mail: kit@iszf.irk.ru*

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

Гелиосейсмология обнаружила возрастание скорости вращения с глубиной в тонком (30 Мм) приповерхностном слое. Относительная величина неоднородности вращения в этом слое не зависит от широты. Показано, что такое состояние вращения является следствием малого характерного времени приповерхностной конвекции по сравнению с периодом вращения и радиальной анизотропии конвективной турбулентности. Отсутствие зависимости относительной неоднородности вращения от широты следует из соображений размерности и не зависит от метода ее расчета. Теория дифференциального вращения воспроизводит наблюдаемую величину данной неоднородности для значения анизотропии турбулентной конвекции, полученной в численных экспериментах [1]. Тороидальное магнитное поле, вырабатываемое в приповерхностном слое, меньше 100 Гаусс и не существенно для солнечного динамо. В то же время, приповерхностный слой является основным источником глобального меридионального течения важного для динамо.

[1] Kitiashvili I. N. et al. // MNRAS, 2023, v. 518, p. 504.

**Динамо звезд солнечного типа:
уроки для физики Солнца**

**Клиорин Н.^{1,2}, Рогачевский И.², Кузанын К.М.^{1,3},
Сафиуллин Н.Т.^{1,4}**

¹*Институт Механики Сплошных Сред УрО РАН, г. Пермь,
e-mail: nat@bgu.ac.il*

²*Ben Gurion University, Beer-Sheva, Israel, e-mail: gary@bgu.ac.il*

³*ИЗМИРАН (IZMIRAN), Москва, Россия,
e-mail: kuzanyan@izmiran.ru*

⁴*Уральский Федеральный Университет, г. Екатеринбург, Россия,
e-mail: n.t.safiullin@urfu.ru*

В работе рассмотрено возбуждение магнитных полей на звездах главной последовательности спектральных классов от М до G в приближении $\alpha^2\Omega$ динамо и приближения формально тонкой конвективной оболочки. Важным компонентом нашей модели помимо уравнений для тороидальной и полоидальной компонент среднего магнитного поля является учет эволюции магнитной спиральности, влияющей на магнитную часть альфа-эффекта. Удобными для анализа задачи динамо и следствий его решений для солнечно звездной активности являются максимальная мощность нормированного кинетического альфа-эффекта относительно его критического уровня, минимально необходимого для начала возбуждения, относительная толщина конвективной зоны, а также сдвиговая скорость вращения в конвективной зоне, соотнесенная к характерному времени турбулентной диффузии. Первое зависит от радиуса звезды, скорости вращения и турбулентной диффузии, характерной для данного спектрального класса.

Оказывается, что при быстром вращении генерация происходит преимущественно в режиме α^2 динамо, в то время как при медленном вращении в режиме $\alpha\Omega$ динамо типа солнечного. Наличие динамической нелинейности обуславливает хаотическое поведение в широком диапазоне параметров. При значительной скорости вращения полоидальное поле по величине приближается к тороидальному и создает помимо экваториальной зоны пятнообразования полярную. При быстром вращении в режиме $\alpha^2\Omega$ динамо происходят длиннопериодические колебания. На нелинейной стадии эти колебания возможны в более умеренном диапазоне вращения. Таким образом, верхняя граница продолжительности звездных циклов может быть существенно длиннее нескольких лет, и составлять десятилетия (сравнимо по времени с солнечным циклом, и даже его длинее). Это обуславливает необходимость накопления длинных рядов наблюдений для понимания природы звездной активности.

The work is supported by Russian Science Foundation grant 21-72-20067.

Расположение и симметрия сверхпроводимости в нейтронных звездах

Кобяков Д.

*Институт Прикладной Физики РАН, Нижний Новгород,
e-mail: dmitry.kobyakov@appl.sci-nnov.ru*

Расположение и симметрия сверхпроводящих протонов изучена [1] путем решения уравнений Толмана-Оппенгеймера-Волкоффа на основе объединенного уравнения состояния Барселона-Катания-Париж-Мадрид и современных вычислений энергии щели протонного сверхпроводника [2]. Из вычислений [1] следует, что сверхпроводимостью обладают лишь слой толщиной приблизительно 500 метров в жидком ядре (с изотропной и непрерывной симметрией) и слой толщиной 100-150 метров на границе ядро-кора (с анизотропной симметрией [3], [4]). Я вычисляю амплитуду туннелирования протонов в идеально упорядоченном регионе пластин в фазе пасты и прихожу к выводу, что для выбранного уравнения состояния туннелирование протонного сверхпроводящего тока между соседними пластинами пренебрежимо мала, и регион пластин следует описывать как дискретную систему квази-двумерных слоев. Вычисления предсказывают существование границы сверхпроводника и нормальной плазмы на глубине приблизительно 1 км в толще жидкого ядра. Такая граница качественно меняет спектр магнитно-акустических волн внутри звезды.

Работа выполнена при поддержке НЦМУ «Центр Фотоники» при финансировании Министерства Науки и Образования РФ (контракт 075-15-2022-316).

- [1] Kobyakov, Dmitry // 2023, arXiv:2308.09116 [nucl-th].
- [2] Lim, Y. and Holt, J.W. // Phys. Rev. C., 2021, v. 103, p. 025807.
- [3] Kobyakov, D.N. // Phys. Rev. C., 2018, v. 98, p. 045803.
- [4] Kobyakov, D.N. and Pethick, C.J. // Sov. Phys. JETP, 2018, v. 127, p. 851.

Некоторые свойства плазменной оболочки коричневого карлика

Кобяков Д.

*Институт Прикладной Физики РАН, Нижний Новгород,
e-mail: dmitry.kobyakov@appl.sci-nnov.ru*

Коричневые карлики представляют интерес как промежуточное звено между планетами и звездами. Магнитные поля величиной порядка килогаусса делают эти объекты наблюдаемыми, например, TVLM 513–46546, LSR J1835+3259 и другие. В современном понимании механизмов излучения считается, что наблюдаемые всплески сантиметровых волн указывают на электронный циклотронный мазер [1, 2, 3], непрерывное миллиметровое свечение – на гиротронное излучение электронов [4, 5], а рентгеновское свечение объясняется наличием большого числа корональных магнитных петель [6]. Дальнейший прогресс предполагает [7] более подробное изучение распределения плазмы, окружающей коричневого карлика. В настоящей работе оцениваются основные характеристики некоторых плазменных неустойчивостей в магнитосфере коричневого карлика.

Исследование было выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-12-00268).

- [1] Hallinan, G. et al. // *ApJ*, 2008, v. 684, p. 644.
- [2] Kao, M.M. et al. // *Nature*, 2023, v. 619, p. 272.
- [3] Climent, J.B. et al. // *Science*, 2023, August 24.
- [4] Williams, P.K.G. et al. // *ApJ*, 2015, v. 815, p. 64.
- [5] Hughes, A.G. et al. // *ApJ*, 2021, v. 162, p. 43.
- [6] Zaitsev, V.V. and Stepanov, A.V. // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2022, v. 62, p. 1078.
- [7] Bespalov, P.A. et al. // *Ann. Geophys.*, 2006, v. 24, p. 2043.

**Триггерные эффекты воздействия явлений
космической погоды на земную тектонику и возможное
параллельное влияние на климат**

Комитов Б.П.¹, Кафтан В.И.²

¹*Институт астрономии и НАО — БАН, София, Болгария,
e-mail: komitovboris97@gmail.com*

²*Геофизический центр — РАН, Москва, e-mail: v.kaftan@gcras.ru*

В настоящем исследовании даны доказательства о том, что явления космической погоды могут играть ролью триггерных механизмов для значительной части земных сейсмических и вулканических событий. Как физическими каналами связей рассматриваются воздействия процессов на Солнце и межпланетной среды на электрические токовые системы между нижней ионосферы и литосферы с участием аэрозольной составляющей земной атмосферы. Для статистического анализа были использованы несколько типов данн: 1. Полная совокупность данн для вулканических событий в последних ~ 470 лет, начиная с 1551 и до 2020 года (6215 извержений с eruptивным вулканическим индексом VEI=>0); 2. USGS – каталог для сильных землетрясений (M=>5.8) с 1958 года; 3. Полная совокупность данн для солнечной активности в рентгеновской области и связанные с ней другие солнечные и геофизические события с NASA/NOAA STP-сервера начиная с 1958 года; 4. Полная совокупность данн о наблюдаемых группах солнечных пятен, начиная с 1874 и вплоть до 2023 года; 5. Исторические описания сильнейших землетрясений на Балканском полуострове в конце 19-го и начале 20-го века; 6. Ряд Шове как индиректным приближением солнечной активности в 16-ом и 17-ом века.

**Филаментация плазменного шнура внутри магнитной
арки в лабораторном эксперименте по моделированию
плазменных структур в солнечной короне**

Корягин С.А., Викторов М.Е.

*Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН,
Нижний Новгород, e-mail: koryagin@ipfran.ru*

Представлен эксперимент в компактной лабораторной установке [1, 2] с диаметром разрядной камеры 15 см, сконструированной для изучения плазменных структур в магнитной арке. Локализованный разряд создаёт полностью ионизованный плазменный шнур с концентрацией $10^{13} \div 10^{15} \text{ см}^{-3}$, который распространяется со скоростью $v = 1,5 \cdot 10^6 \text{ см/с}$ вдоль магнитной петли. Скорость v в 3,5 раза превышает скорость ионного звука. Арочная структура создана парой электромагнитов, расположенных в основаниях петли. Невозмущённая плазмой магнитная индукция меняется от $10 \div 20 \text{ кГс}$ в основаниях арки до $0,8 \text{ кГс}$ в вершине. Поток плазмы, создаваемый в основании петли, содержит фракцию электронов с температурой 3 эВ и фракцию ионов с энергией направленного движения 33 эВ.

Оптическое излучение плазмы свидетельствует о трансформации шнура в структуру типа полого цилиндра или двух лент. Сообщение обсуждает стационарные токовые конфигурации [3, 4] в плазме с анизотропией температуры. В указанных распределениях ток и концентрация среды локализованы на характерном расстоянии от c/ω_{pe} до c/ω_{pi} , что наблюдается в эксперименте (c — скорость света, ω_{pe} и ω_{pi} — электронная и ионная плазменные частоты).

В установке тепловое давление плазмы варьируется в интервале как выше, так и ниже магнитного давления, что соответствует областям солнечной короны, где происходит разрыв магнитных арок с выбросом вещества в межпланетное пространство.

Работа поддержана грантом РФФИ № 23-12-00317.

- [1] Викторов М.Е. и др. // Письма ЖТФ. 2015. Т. 41, вып. 18. С. 74.
- [2] Viktorov M.E. et al. // Plasma Phys. Control. Fusion. 2019. V. 61. P. 035001.
- [3] Веселовский И.С. // Журн. техн. физ. 1975. Т. 45. С. 797.
- [4] Кочаровский В.В. и др. // УФН. 2016. Т. 186. С. 1267.

**Эволюция площади и скорости вращения по диску
крупных групп пятен, наблюдавшихся на активной
долготе на спаде активности цикла 24**

Костюченко И.Г.¹, Вернова Е.С.²

¹НИФХИ им.Л.Я.Карпова, Москва, Россия,
e-mail: irkost46@gmail.com

²Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, С.-Петербург, Россия

Механизм образования и долговременного существования областей повышенной активности на Солнце (активных долгот) остается непонятым. Считается, что большое количество групп пятен, наблюдаемых в области активной долготы, и их повышенная активность обеспечиваются непрерывным поступлением в эту область магнитного потока от долгоживущего источника. Ранее было показано, что в период близкий к минимуму солнечной активности возможный источник активной долготы вращается со скоростью, несколько превышающей Кэррингтоновскую.

В данной работе анализируется эволюция наиболее крупных и долгоживущих активных областей, наблюдавшихся в области активной долготы на нисходящей ветви цикла 24 непосредственно перед минимумом. В их число входит группа 12673, в которой в сентябре 2017 года произошла вспышка класса X 9. Проводится сопоставление вариаций площади групп пятен, их конфигурации и скорости вращения по диску. При этом предполагается, что поступление нового магнитного потока в группу пятен должно приводить к увеличению её скорости вращения. Результаты анализа могут прояснить, продолжает ли поддерживаться связь между источником магнитного потока и всплывшими группами пятен.

Загадка колебаний Солнца

Котов В.А.

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный, Крым
298409, Россия, e-mail: vkotov@crao.crimea.ru*

Гелиосейсмология и теория внутреннего строения звёзд не в состоянии объяснить колебания Солнца с периодом $P \approx 1/9$ сут, предсказанные Э. Савэ в 1946 г. и фактически открытые в 1974 г. На основе доплеровских наблюдений солнечной фотосферы, выполненных в КрАО в течение 2522 дней (1974–2018 гг., 14986 часов), период уточнён: $P_0 = 0.11111813(14)$ сут.

Примечательно, что эта шкала — наилучшая соизмеримая для периодов вращения самых массивных быстро вращающихся тел солнечной системы, включая Землю, а также для пульсаций звёзд типа δ Sct. Периодичность P_0 обнаружена в вариациях светимости некоторых внегалактических объектов (независимо от красного смещения z) и, с фактором $\pi/2$, в распределении периодов тесных двойных звёзд и сверхбыстрых экзопланет. Установлено также, что масштаб $cP_0 = 19.24$ А. Е. определяет структуру солнечной системы (с коэффициентом π для внутренних орбит), тогда как сама шкала P_0 определяет как загадочный “провал” взрывных переменных (и родственных объектов) на периодах $\approx P_1 = 3P_0/\pi \approx 0.106$ сут, так и подобный “провал” экзопланет на $P \approx P_2 = 3\pi P_0 \approx 1.047$ сут, так что отношение

$$\frac{P_2}{P_1} = \pi^2. \quad (1)$$

Выдвинута гипотеза, что космическая шкала P_0 характеризует *стремление* объектов, структур и процессов Вселенной к повторению в пространстве и времени. Однако истинная природа вездесущего явления P_0 ещё далека от ясного понимания.

О двух последних солнечных циклах и текущей фазе СЦ 25

Крайнев М.Б.

ФИАН им. П.Н. Лебедева, Москва, e-mail: mkrainev46@mail.ru

В последние десятилетия широко обсуждаются два последних цикла солнечной активности (СЦ 24 и 25) в сравнении с предыдущими циклами. Некоторые исследователи говорят о начале очередного глобального минимума типа минимумов Маундера или Дальтона, другие – об их более скромном месте (типа минимума Глайзберга).

В докладе место двух последних циклов оценивается из сравнения развития их характеристик с наблюдениями или реконструкцией этих характеристик для предыдущих глобальных минимумов. Двумя разными методами делается прогноз максимальной площади солнечных пятен S_{max} (средней для двух пиков Гневьшева) в СЦ 25.

Кроме того рассматриваются особенности перехода от последней эпохи высокой солнечной активности (1930-2000 гг.) к современному минимуму активности, а также резкое начало периода инверсии гелиосферного магнитного поля в текущую фазу максимума СЦ 25.

**Интенсивность галактических космических лучей
в период инверсии гелиосферного магнитного поля**

*Крайнев М.Б.¹, Базилевская Г.А.¹, Калинин М.С.¹,
Михайлов В.В.², Свиржевская А.К.¹, Свиржевский Н.С.¹*

¹*ФИАН им. П.Н. Лебедева, Москва, e-mail: mkrainev46@mail.ru*

²*Московский инженерно-физический институт, Москва*

В интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ) первый эффект инверсии гелиосферного магнитного поля (ГМП) был впервые замечен группой ФИАН в 1973 г. и с тех пор 22-летняя цикличность характеристик ГМП и интенсивности ГКЛ исследуется в течение уже 50 лет.

Однако, в чём заключается инверсия ГМП в эпоху максимума пятенной активности Солнца, единого мнения нет, хотя для периодов средней и низкой активности ситуация с ГМП понятна – гелиосфера состоит из двух униполярных «полушарий», разделённых волнистым глобальным гелиосферным токовым слоем.

В докладе кратко обсуждаются наблюдаемые эффекты в интенсивности ГКЛ, связываемые нами с инверсией ГМП, модель инверсии ГМП, разрабатываемая в ФИАН, и некоторые результаты 2D расчётов интенсивности ГКЛ, использующие эту модель инверсии ГМП.

Ионная вейбелевская неустойчивость вблизи фронта головной ударной волны Земли

Кропотина Ю.А.¹, Петрукович А.А.², Быков А.М.¹,
Чугунова О.М.²

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург, e-mail: juliett.k@gmail.com

²Институт Космических исследований, Москва

Бесстолкновительные ударные волны (БУВ) возникают за счет коллективных эффектов на масштабах много меньше кулоновской длины свободного пробега. Ближайшая к нам БУВ – головная ударная волна (УВ) Земли. Прямые наблюдения современных спутников позволяют детально изучить ее структуру и динамику.

Одной из актуальных задач современной астрофизики является изучение УВ, формирующихся в слабо замагниченной плазме. Такие УВ могут возникать, например, во время гамма-всплесков, в молодых остатках сверхновых, при слиянии скоплений галактик. При определенных параметрах они могут формироваться за счет ионной вейбелевской неустойчивости. Однако точный диапазон параметров, при которых она доминирует, пока определен лишь приблизительно.

Головная УВ Земли в периоды слабого межпланетного поля может иметь плазменный параметр $\beta = 8\pi nk_B T / B^2$ и альвеновское число Маха $M_a = V / V_a$ порядка нескольких десятков. В таких УВ могут наблюдаться сильные квазипериодические осцилляции, ассоциируемые с вейбелевской неустойчивостью.

В работе [1] при помощи гибридной модели было показано, что УВ, наблюдаемая спутниками MMS 25 ноября 2017 г, формируется за счет ионной вейбелевской неустойчивости. Наблюдаемые квазипериодические осцилляции, напоминающие волновые пакеты, связаны с движением вейбелевских структур вдоль фронта УВ. Выбранная для моделирования УВ имела $\beta \sim 60$ и $M_a \sim 60$.

В данной работе, сопоставляя наблюдения MMS с гибридной моделью, мы демонстрируем, что вейбелевская неустойчивость доминирует и при более низких $\beta \sim 10$ в случае, если ионная температура достаточно высока. Также мы показываем наличие регулярных структур в трехмерной картине вейбелевской турбулентности.

[1] Kropotina J.A., Petrukovich A.A., Chugunova O.M., Bykov A.M.. // MNRAS, 2023, v. 524(2), p. 2934-2944.

Вариации климата Земли и солнечная активность в Голоцене

Кудрявцев И.В.^{1,2}, Дергачев В.А.¹, Наговицын Ю.А.^{2,3}

¹ ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН,
С.-Петербург, e-mail: Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru

² ФГБУН Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория
РАН, С.-Петербург

³ Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
С.-Петербург

Вопрос о причинах изменения климата Земли является одним из самых актуальных. Это обусловлено тем, что, кроме природных причин изменений климата, в настоящее время имеет место и антропогенное воздействие на земной климат. Известно, что излучение Солнца является основным фактором, определяющим физические характеристики земной атмосферы. Поэтому изменение солнечной активности (СА) и солнечной постоянной не может не сказываться на климатических вариациях. Так, хорошо известно, что Малый Ледниковый Период на Земле происходил во время глубоких минимумов СА Шперера, Маундера и Дальтона. Также широко дискутируется влияние изменяющейся СА на поток галактических космических лучей, способных приводить к вариациям отражательной способности земной атмосферы — альбедо. В докладе анализируются изменения СА и земного климата с начала периода окончания последнего глобального оледенения (включающего в себя Маендорфское потепление ($\approx(12500-11850)$ гг. до н.э.) и периоды похолоданий) и во время Голоцена с целью выявления периодов акцентированного влияния активности Солнца на изменения земного климата.

Наблюдения и расчет модели спокойного протуберанца

*Купряков Ю.А.^{1,2}, Бычков К.В.², Белова О.М.²,
Горшков А.Б.², Малютин В.А.²*

¹*Astronomical Institute AS CR, Ondřejov, Czech Republic,
e-mail: kupry@asu.cas.cz*

²*Астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ,
Москва, Россия, e-mail: bychkov@sai.msu.ru*

Мы представляем результаты наблюдений спокойного протуберанца на лимбе Солнца. Спектры были получены авторами 22 октября 2013 г. в 10:39 – 11:07 UT на горизонтальном солнечном телескопе HSFA-2 Чешской Академии Наук (Ondřejov observatory). Цель работы — получение физических характеристик вещества протуберанца и их динамики на основе измеренных потоков излучения в линиях CaII H, H β , D3, H α и CaIR 8542 Å. В работе выполнены не-ЛТР расчёты для водорода, кальция и гелия для четырех моментов времени. Мы пытались по возможности получить результаты в модели однородного слоя газа, и только в тех случаях, когда это оказывалось невозможным, прибегали к многослойной модели.

Использование большого числа спектральных линий разных химических элементов позволило определять физические параметры излучающего слоя со значительно большей точностью и степенью уверенности в результате, чем определение по малому числу линий. В большинстве эпизодов газ протуберанца является неоднородным, есть градиенты электронной температуры и плотности.

Практически для всех моментов наблюдений концентрация составляет около 10^{10} см⁻³. В случае однослойной модели высота слоя составила 55000 км, температура — 15600 К. Для двухслойной модели согласие с наблюдениями достигнуто при высоте слоев 25000 км и 20000 км и температурах 25000 К и 6000 К для ближнего и дальнего слоев соответственно. При моделировании излучения для двух моментов времени потребовалась трехслойная модель с диапазоном высот слоев от 8700 до 24500 км и температур от 8700 до 24500 К.

Излучение эмиссионных линий кальция и параметры протуберанца меняются на масштабах времени от одной до десяти минут.

Новый инструмент для спектрополяриметрии Солнца в КраО РАН

*Куценко А.С., Теребизж В.Ю., Долгополов А.В.,
Абраменко В.И., Семенов Д.Г., Сжирута В.Н.,
Плотников А.А., Лопухин В.И.*

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

Развитие наблюдательной инфраструктуры в области физики Солнца в последнее время идет в двух направлениях – существенное повышение пространственного разрешения и одновременные наблюдения в широком спектральном диапазоне. Последнее позволяет проводить анализ солнечной активности в большом интервале высот в солнечной атмосфере.

Заметным трендом стало увеличение возможностей для изучения хромосферы, где магнитное поле, скорее всего, становится бессильным. Наблюдения на этих высотах позволяют проводить более корректную аппроксимацию корональных полей в активных областях, что необходимо, например, при анализе триггеров вспышек.

В Крымской астрофизической обсерватории РАН проводятся испытания нового спектрополяриметра, установленного на крупнейшем на сегодня оптическом солнечном телескопе России БСТ-1. Основная задача прибора – одновременное измерение магнитных полей и продольных скоростей плазмы в фотосфере и нижней хромосфере Солнца. В рабочий диапазон спектрополяриметра, в общей сложности перекрывающий более 50 Å, попадают спектральные линии из триплета Mg I b2 5173 Å (ядро линии формируется в нижней хромосфере) и фотосферная линия Fe I 5250 Å с эффективным фактором Ланде $g=3$. Спектральное разрешение прибора составляет около 70000. В докладе будет описана оптическая схема спектрополяриметра и представлены первые результаты по измерению магнитных полей на Солнце.

Границы полярных сияний во время магнитных бурь

Лаверухин А.С., Алексеев И.И.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобелева (НИИЯФ МГУ), Москва, e-mail: lavrukhin@physics.msu.ru

Используя данные о положении приэкваториальной границы полярного овала, полученные со спутников DMSP за 2010-2014 годы [[1]] и значения параметров солнечного ветра и индекса SYM/H во время магнитной бури, мы анализируем зависимость между ними. Полученная в результате эмпирическая зависимость сравнивается с зависимостями от Dst индекса из работ [2] и [3]. Зная широту приэкваториальной границы φ_b , в приближении дипольного магнитного поля мы рассчитываем расстояние до переднего края токового слоя хвоста магнитосферы как проекции аврального овала вдоль магнитной силовой линии в полуночном меридиане: $R = 1/\cos^2 \varphi_b$.

- [1] Kilcommons, L. M., Redmon, R. J., and Knipp, D. J., A new DMSP magnetometer and auroral boundary data set and estimates of field-aligned currents in dynamic auroral boundary coordinates, J. Geophys. Res. Space Physics, 122, 9068–9079, doi:10.1002/2016JA023342, 2017
- [2] Старков, Г.В. Планетарная морфология сияний // Магнитосферно-ионосферная физика: Краткий справочник под ред. Мальцев., Ю.П., СПб., Наука. 1993
- [3] Фельдштейн, Я. И. and Дремухина, Л. А. and Луи, А. Т. Ю., Околоземная граница плазменного слоя в хвосте магнитосферы в периоды магнитных бурь, Геомагнетизм и Аэронавтика, 40, 6, 21-24, 2000.

**Циклические вариации площадей анти-Хейловских
активных областей в 23-м и 24-м солнечных циклах**

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

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

В настоящей работе проведено сопоставление площадей анти-Хейловских активных областей (АО) с площадями остальных АО. Для данного анализа мы использовали среднемесячные данные USAF/NOAA о площади пятен в миллионных долях полусферы, а также крымский каталог биполярных АО, нарушающих закон полярности Хейла за 1989-2018 годы. Были выбраны 143 АО 23-го и 24-го солнечных циклов в период с февраля 1996 по август 2018 гг. Сопоставление показало, что площади анти-Хейловских и остальных АО меняются синхронно с хорошей корреляцией. Есть основания полагать, что анти-Хейловские и остальные АО порождаются в результате работы единого динамо-процесса с 11-летним периодом.

Медленные магнито-акустические колебания в искривленных корональных петлях

Лопин И.П.

*Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург,
Уссурийский филиал, e-mail: lopin78@mail.ru*

В работе проведены теоретические исследования влияния кривизны магнитного поля на медленные магнито-акустические колебания в корональной петлевой аркаде. Простая модель полукруглого магнитного слоя используется для моделирования искривленных корональных магнитных структур. Путем решения системы МГД-уравнений для сжимаемой плазмы было получено дисперсионное уравнение, определяющее сжимаемые МГД-моды в рассматриваемой модели. Обнаружено существование полосы медленных объемных мод с фазовыми скоростями, близкими к внутренней трубочной скорости и одиночной гибридной моды с фазовой скоростью близкой к внешней трубочной скорости. Показано, что основная медленная магнито-акустическая мода вызывает радиальные смещения оси слоя и деформирует его поперечное сечение. Такой тип поперечных колебаний магнитного слоя известен как кинк-колебания. Эти движения сопровождаются доминирующими продольными колебаниями, характерными для медленных мод. Такие свойства медленных магнито-акустических мод в искривленных волноводах могут приводить к колебаниям интенсивности и доплеровского сдвига, а также к осциллирующим пространственным смещениям, часто наблюдаемым в корональных петлях. На основе развитой теории предложена интерпретация наблюдаемых незатухающих поперечных колебаний малых корональных петель, образующих так называемые яркие корональные точки.

**Разработка программного комплекса для анализа
Солнечной активности на основе данных РАТАН-600**

Лысов И.И.¹, Курочкин Е.А.², Князева И.С.³, Держач Д.А.¹

¹*ВШЭ, Москва, e-mail: iilysov@miem.hse.ru*

²*СПбФ САО РАН, С.-Петербург, e-mail: iknyazeva@gmail.com*

³*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: ng-makar@mail.ru*

В докладе будут представлены текущие результаты и описание будущего функционала программного комплекса, осуществляющего доступ к данным радиоастрономических наблюдений телескопа РАТАН-600 и их последующей обработки. Наблюдения в микроволновом диапазоне позволяют исследовать нижнюю корону Солнца, в которой происходит множество явлений (всплески, микровсплески, корональные дожди и т.п.), поэтому, наряду с оптическими данными (видимый свет, рентген, ультрафиолет), исследователями используется и радиодиапазон. Инструментов для работы исследователей в оптическом диапазоне довольно много — это и самостоятельное программное обеспечение, и подключаемые к языку программирования библиотеки для обработки информации. Однако в радиодиапазоне, таких инструментов меньше, а методы машинного обучения применяются редко. В данной работе исследуются временные ряды РАТАН-600 за длительные (месяцы и годы) промежутки времени. Таким образом, решаются две задачи: создание нового удобного для исследователей инструмента доступа и обработки данных, а также извлечение и создание базы данных физически обоснованных признаков, которые могут в дальнейшем использоваться как для моделирования физических процессов, так и для прогнозирования солнечной активности [1, 2].

- [1] Петерова Н.Г, Топчило Н.А. Курочкин Е.А // Геомагнетизм И Аэрoнoмия, 62(1)., 2022, v. 62(1), p. 28.
- [2] Shendrik, A. V., et all // Geomagnetism and Aeronomy, 2020, v. 60(8), p.999.

Тестирование детерминированной компоненты в гелиофизических временных рядах методами TDA

Макаренко Н.Г., Князева И.С., Волобуев Д.М.

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: ng-makar@mail.ru*

Сложность моделей распределенной динамики, согласованных с наблюдаемыми рядами, обусловлена тем, что последние не содержат явной информации о геометрии системы. Кроме того, доступные наблюдения масштабы много меньше чем характерные времена системы; данные нелинейны, нестационарны и содержат шумы неизвестной природы.

Для Солнечной Активности (СА) примером являются ряды чисел Вольфа, которые обычно рассматривают как детерминированно порожденная наблюдаемая СА, в смысле Такенса. Поэтому, присутствие в них детерминированной компоненты считается неизбежным в задачах солнечно-земных связей. Так, считается, что Фурье спектр этих рядов содержит богатый набор периодов, от квази-двухлеток, до 200-летних, которые обеспечивают любые приложения. Однако реальность этого набора обусловлена слабо: недавние ревизии редуцировали его лишь до одной, по-видимому, хаотической моды [1].

Альтернативные тесты основанные на методах эмбедологии ограничены длиной инструментального ряда, которая явно недостаточна для корректного анализа [2]. Напомним, что необходимая для реконструкции M -мерного аттрактора, длина ряда N , оценивается как $N > 42^M$ [3].

По этим причинам, для тестирования реальности детерминированной компоненты рядов СА мы используем здесь Топологический Анализ Данных (TDA), [4]. Он основан на совершенно ином контексте, связанном с идеей персистентных оценок. Доклад содержит полученные нами результаты.

- [1] Frick P., et al. // Russian J. of Nonlin. Dyn.. 2022, v. 18, p. 289.
- [2] Letellier C., et al. // A&A. J., 2006, v. 449, p. 379.
- [3] Smith L. // Phys.Let.1988, v 133, p. 283
- [4] Myers A., et al. //Phys.Rev. E. 2019, v. 100, p. 022314

Солнечный радиотелескоп ИЗМИРАН РТ-1 для определения индекса F10.7

Маурчев Е.А., Абукин А.А.

ИЗМИРАН, Москва, e-mail: maurchev@izmiran.ru

Одной из важных задач солнечной и солнечно-земной физики является мониторинг и прогнозирование солнечной активности, поскольку она влияет как на состояние космической погоды в целом, так и на состояние околоземной среды (атмосферы, ионосферы и т.д.). Также следует заметить, что многие модели для описания состояния околоземного космического пространства используют в качестве входного параметра информацию о состоянии солнечной активности, в частности индекс F10.7. В рамках гранта РФФИ № 20-72-10023 был разработан собственный солнечный радиотелескоп, установленный на территории ИЗМИРАН.

В работе приводится описание узлов радиотелескопа, рассматриваются особенности технических решений. Рассматриваются особенности калибровки и ведения съемки. Показаны первые результаты работы устройства в сравнении с радиотелескопом, установленном в Канаде, показано хорошее согласие. Обсуждаются перспективы и возможные нововведения на основе опыта, полученного во время эксплуатации.

**Эффект сжатия корональных петель во время
вспышки 24.02.2023**

Мельников В.Ф.¹, Мешалкина Н.С.²

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

² Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск,
e-mail: mtssnami@yandex.ru

В настоящей работе исследована динамика петлеобразных структур и сопутствующих ей явлений во время вспышки 24.02.2023. Отличительной особенностью события 24 февраля 2023, было явление сильного (более, чем в 2 раза по сравнению с начальной высотой) сжатия системы корональных вспышечных петель, которое происходило как на фазе роста, так и на фазе спада интенсивности рентгеновского излучений вспышки. Проанализировано поведение петельных структур на протяжении всей вспышки по данным в ультрафиолетовом (AIA/SDO в каналах 131 Å, 171 Å, 211 Å) и микроволновом диапазонах по данным Сибирского Радиогелиографа (СРГ, 3 – 6 ГГц, 6 – 12 ГГц). Измерялись два параметра: высота нижней границы высокой аркады петель и расстояние между ее основаниями. На основе фильмов AIA/SDO можно сделать вывод, что узкая петельная структура двигалась вниз как единое целое со скоростью ~ 5 км/с вплоть до момента времени основного пика в рентгеновском излучении (06:05 UT), причем расстояние между её основаниями не менялось. За несколько минут до этого пика началось резкое уменьшение высоты нижней границы системы корональных петель (со скоростью 25 км/с). Интересно то, что это резкое уменьшение высоты началось с появлением интенсивных нестационарных потоков (выбросов) плазмы, наблюдаемыми как непосредственно над этими петлями, так в их окрестностях. Рассмотрены возможные теоретические модели, объясняющие обнаруженные явления.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант № 22-12-00308).

Особенности пространственного распределения электронной температуры солнечной короны

Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.

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

Проведен поиск пространственного распределения электронной температуры короны Солнца. Величина температуры определялась из анализа поляризационных снимков, полученных во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 года. В результате анализа было установлено, что электронная температура короны существенно неоднородна. Были обнаружены зоны максимума температуры, которые дискретным образом располагались в картинной плоскости короны Солнца. До расстояния $2 R_{\odot}$ (солнечных радиусов) от центра Солнца максимумы температуры находились на широтах $25^{\circ} S$, $9^{\circ} N$, $35^{\circ} N$ и уровнях $1.29 R_{\odot}$, $1.78 R_{\odot}$. Величины максимальных электронных температур на указанных уровнях составили $60 - 80$ МК и $20 - 40$ МК соответственно.

Максимальная энергия солнечной вспышки в современную эпоху

Мерзляков В.Л.

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

Изучается энергетика солнечной вспышки в рамках модели ускорения электронов в магнитной X-особенности. Получена зависимость величины энергии вспышки от параметров зоны ускорения. Основным параметром, влияющим на энергию, оказался диаметр зоны ускорения. Для наблюдаемых экстремальных событий 1859 г., 1940 г., 2003 г., имеющих энергию $\approx 5 \cdot 10^{32}$ эрг, этот диаметр был равен 200 км. В случае события 774 г., которое связывают с вспышкой энергией $2 \cdot 10^{33}$ эрг, указанный размер должен быть не менее 800 км. Такой размер представляется нереальным в рассматриваемой модели. В таком случае можно с большой долей вероятности предположить, что наблюдаемые мощные вспышки и есть вспышки с максимальной энергией в современную эпоху. И частота их появления составляет около 70 лет.

Эволюция анти-хейловских областей на Солнце

Мерзляков В.Л.¹, Старкова Л.И.¹

¹ИЗМИРАН, Москва, e-mail: starkova@izmiran.ru

Иногда на Солнце появляются активные области (АО), которые нарушают основные хейловские законы существования активных областей (АО). Время их жизни исчисляется от одного до трех солнечных оборотов и не зависит от мощности (АО). Работа проведена по архивным кэрингтоновским картам телескопа SOLIS (Synoptic Optical Long-term Investigations of the Solar Instruments) национальной обсерватории Kit Peak.

Всплывание петель поперечного магнитного поля в спокойной фотосфере

Можаровский С.Г.

УАФО ИПА РАН, Уссурийск, e-mail: mozharovskys@mail.ru

Из данных спектрополяриметра Hinode выделены области спокойной фотосферы, в которых поперечное магнитное поле заметно превышает продольное. Это сделано путём сравнения эквивалентных ширин (для значений по модулю) линейной $L = \sqrt{(Q^2 + U^2)}$ и круговой $|V|$ поляризаций, измеренных в линиях Fe I λ 6301 и 6302 Å. Данные области представляют собой вершины магнитных петель, которые пересекают во время движения к наблюдателю (от наблюдателя) тот слой фотосферы, где образуются вышеупомянутые линии Fe I. Размеры таких областей не превышают $0''.5$, время пересечения вершиной петли видимого слоя фотосферы не больше четырёх минут. Наблюдаются такие пересечения в основном на краях гранул, во всплывающих участках. На картах Hinode порядок расстояний между вершинами таких петель $10''$. Они не встречаются в областях спокойной фотосферы, где на магнитограмме видно заметное продольное поле. Но вокруг них обычно можно найти достаточно слабые продольные поля противоположной направленности. Такие процессы всплытия или погружения наблюдаются вблизи центра диска Солнца в спокойных областях вплоть до гелиоцентрического угла $\mu = 45^\circ$. Области, где поле перпендикулярно лучу зрения, могут иметь и более значительный размер — до нескольких угловых секунд. Их можно разделить на два класса. В-первых, они наблюдаются вблизи лимба, где $\mu > 75^\circ$. Здесь они имеют совсем другой характер, являются составной частью факельных полей, наблюдаются длительно — много минут. Как правило, со стороны центра диска наблюдается интенсивное продольное поле, ближе к лимбу — область, где поперечное поле превосходит продольное и ещё ближе к лимбу — слабое продольное поле противоположной полярности. Второй класс — структуры, которые напоминают всплывающий пузырь, стенки которого состоят из продольного поля разного знака, а вершина из области поперечного поля. Чтобы их идентифицировать, надо брать сеанс наблюдений Hinode, где одна и та же полоска солнечной поверхности сканируется многократно с каденцией около двух минут или чаще, и где можно наблюдать процесс всплытия структуры.

**Энергетический баланс в солнечной вспышке
7 сентября 2017 года**

Моторина Г.Г.^{1,2,3}, Флейшман Г.Д.^{4,5}, Yu S.⁴, Nita G.⁴

¹ *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: g.motorina@yandex.ru*

² *Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences, Ondrejov,
Czech Republic*

³ *Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

⁴ *Center For Solar-Terrestrial Research, New Jersey Institute of
Technology, Newark, NJ 07102, USA*

⁵ *Leibniz-Institut für Sonnenphysik (KIS), Freiburg, 79104, Germany*

Солнечные вспышки обусловлены выделением свободной магнитной энергии и ее преобразованием в другие виды энергии — тепловую, нетепловую и кинетическую. Количественная оценка распределения энергии между этими компонентами и их эволюции необходима для понимания феномена солнечной вспышки, включая ускорение, перенос, убегание нетепловых частиц, а также нагрев и охлаждение тепловой плазмы.

В данной работе мы анализируем отношение тепловой и нетепловой энергий для солнечной вспышки SOL2017-09-07T184140 (C4.5). Для оценки тепловой компоненты был проведен подробный анализ SDO/AIA данных с помощью дифференциальной меры эмиссии. Для оценки компоненты горячей плазмы и нетепловой компоненты были использованы Fermi/GBM данные. Для верификации предположения о морфологии вспышки, с помощью GX симулятора была построена 3D-модель на основе SDO/HMI данных, микроволнового (EOVSA) и рентгеновского (Fermi/GBM) излучения. Обсуждаются полученные результаты.

Работа выполнена при поддержке РФФ No. 20-72-10158.

**Статистический анализ параметров радиовсплесков
III типа по данным Солнечного спектрополяриметра
метрового диапазона (ССМД)**

Муратова Н.О., Кашапова Л.К.

ИСЗФ СО РАН, Иркутск, e-mail: muratova@iszf.irk.ru

В работе представлен анализ параметров радиовсплесков III типа, зарегистрированных в диапазоне 50-500 МГц Солнечным спектрополяриметром метрового диапазона (ССМД), радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН. Для анализа были отобраны наблюдения за 2016-2019 гг. В ходе проведения исследования была разработана и использована оригинальная методика выделения радиовсплесков III типа, а также учтены особенности данных, связанные с временным и спектральным разрешением прибора. Обсуждаются результаты статистического анализа таких параметров радиовсплесков III типа, как длительность, частотный диапазон, скорость дрейфа и распределение по скоростям/энергиям электронов, сгенерировавших всплески.

**К 75-летию Кисловодской Горной станции ГАО:
исторические аспекты регулярных наблюдений
солнечной активности**

Наговицын Ю.А.^{1,2}

¹ *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: nag-yury@yandex.ru*

² *Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
С.-Петербург*

Кисловодская Горная станция ГАО (ГАС ГАО) была головным учреждением Службы Солнца СССР, по мнению многих ученых, — лучшей в мире. Ежедневные наблюдения велись на целом ряде инструментов, покрывая значительную часть спектра солнечного излучения, так что мы имеем к настоящему времени обширный банк данных на масштабах многих десятилетий. После распада СССР ГАС ГАО стала одной из немногих станций отечественной Службы Солнца, продолживших наблюдения и сохранивших тем самым непрерывность длительных временных рядов индексов.

В докладе рассмотрены исторические аспекты наблюдений на большой временной шкале в контексте изучения продолжительной динамики солнечного магнитного поля. Уделено внимание эмпирическим правилам солнечной цикличности, выведенным в результате последовательного обобщения имеющегося наблюдательного материала, в том числе связанным с именем основателя ГАС ГАО — М.Н. Гневышева.

**К 75-летию Правила Гневьшева-Оля:
современный статус**

Наговицын Ю.А.^{1,2}, Осипова А.А.¹, Иванов В.Г.¹

¹*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: nag-yury@yandex.ru*

²*Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
С.-Петербург*

В 1948 г. М.Н. Гневьшев и А.В. Оль в «Астрономическом журнале» опубликовали статью, которой завершилась 30-летняя дискуссия, посвященная вопросу, какой из пары 11-летних циклов в «магнитном» цикле Хэйла является начальным, а какой — последующим.

В нашей работе на 320-летнем интервале, начиная с 1700 г., проведено статистическое исследование утверждений, содержащихся в Правиле Гневьшева-Оля (ПГО) и в целом ряде его интерпретаций и толкований. Показано, что ПГО в его оригинальной формулировке для индекса ΣW (физического показателя суммарного магнитного потока за 11-летний цикл) строго выполняется для современных наблюдательных данных — версии 2.0 чисел пятен (чисел Вольфа) — при уровне значимости $\alpha = 0.01$. Для версии 1.0 оно также выполняется, но с несколько меньшей достоверностью: на уровне значимости $\alpha = 0.05$. Правило действует именно для суммарных за цикл значений этого индекса. При этом за четным 11-летним циклом следует нечетный с обычно большей ΣW .

Для амплитуд циклов ПГО существует лишь как тенденция, и различие зависимостей пар циклов Четный-следующий Нечетный и Нечетный-следующий Четный статистически незначимо. Статистически не подтверждается также чередование величины циклов, как для параметра ΣW , так и для параметра высоты цикла.

Таким образом, многие толкования ПГО лишь качественно характеризуют поведение соседних 11-летних циклов, и только ПГО в точной его формулировке не противоречит математической статистике.

Две популяции групп солнечных пятен и правило Гневышева-Вальдмайера

Наговицын Ю.А.^{1,2}

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: nag-yury@yandex.ru

² Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
С.-Петербург

Правило, связывающее время жизни и максимальную достигаемую площадь группы солнечных пятен, было выведено М.Н. Гневышевым (Pulkovo obs. circ. 27, 1938). На него было обращено внимание в широко известной монографии М. Вальдмайера ("Ergebnisse und Probleme der Sonnenforschung", 1941), после чего оно стало называться правилом Гневышева-Вальдмайера. В работах Ю.А. Наговицына с соавторами и А.Г. Тлатова было показано, что это правило не имеет универсального характера в зависимости от рассматриваемых диапазонов площадей групп пятен, а также пятен и пор. С другой стороны, в Пулкове развивается идея, впервые предложенная группой Г.В. Куклина, о существовании на Солнце двух популяций групп пятен. Показано, что популяции различаются по целому ряду свойств (распределением площадей, магнитных полей, вращению, зависимостью от фазы цикла и пр.) и, по-видимому, образуются в разных подповерхностных областях Солнца. В работе рассмотрено правило Гневышева-Вальдмайера именно с точки зрения двух популяций групп пятен.

Damping Cases of Kink Oscillations of Solar Coronal Loops

Накаряков В.М.¹, Елагандула Н.В.²

¹ *Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН, Нижний
Архыз, e-mail: V.Nakariakov@warwick.ac.uk*

² *Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН, Нижний
Архыз, e-mail: naga.vaganov@gmail.com*

The transition from the large-amplitude rapidly-decaying regime of kink oscillations of plasma loops observed in the corona of the Sun to the low-amplitude decayless oscillations is modelled. In this study, the decayless regime is associated with the energy supply from coronal plasma flows, i.e., self-oscillations, or random movements of footpoints of the oscillating loop. The damping is attributed to the linear effect of resonant absorption. We demonstrate that the decay of an impulsively excited kink oscillation to the self-oscillatory stationary amplitude differs from the exponential decay. The damping time is found to depend on the oscillation amplitude to the power of a negative constant whose magnitude is less than unity. In this scenario, a better model for the damping seems to be super-exponential. In the separately considered case of the decayless oscillatory regime supported by a random driver, the oscillation amplitude experiences an exponential decay to the decayless level. Implications of this finding for magnetohydrodynamic seismology of the solar corona based on the effect of resonant absorption are discussed.

Циклическая вариация структуры и энергетики солнечных магнитных полей

Обридко В.Н.^{1,2}, Шибалова А.С.¹, Соколов Д.Д.^{1,3,4}

¹ИЗМИРАН, Троицк, Москва, e-mail: obridko@mail.ru

²ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail:

³Физфак МГУ, Москва, e-mail:

⁴Центр фундаментальной и прикладной математики, Москва,
e-mail:

Основная современная концепция возникновения солнечного магнитного поля основана на теории динамо, которая представляет сегодня одну из наиболее развитых областей физики. Сопоставление теории с наблюдениями выполняется на основе широтно-временной диаграммы за последние 4 цикла. В таких диаграммах долготная зависимость игнорируется и диаграммы строятся на основе зональных составляющих. Такое сопоставление, выполненное в работе Обридко и др.2023 показало наличие двух волн активности, идущих к полюсу и одной направленной к экватору. При этом полярные волны частично налагаются друг на друга и определяются гармониками 1,3,5 порядка, а экваториальная ветвь связана с гармониками более высокого порядка. Более общее описание предполагает анализ зональных, секториальных и тессаральных мод. В настоящей работе выполнен анализ энергии для этих мод как на уровне фотосферы, так и на уровне поверхности источника. Подробно описано их эволюция в течение четырех циклов. Обнаружилось, что все моды показывают сильный постепенный спад со временем. Проведена нормировка на суммарную энергию магнитного поля. Оказалось, что после нормировки исчезает долговременный спад и внутренне распределение гармоник в каждом цикле повторяется. Поэтому внутреннюю структуру каждого цикла для средних полей вполне можно описать классическими принципами динамо. Однако непосредственно описать широтно-временную диаграмму пятен не удается. Бабочки Маундера имеют несколько иную структуру и располагаются на границах двух волн на общей широтно-временной диаграмме. Высказывается предположение, что пятнообразовательная активность является следствием суммарного действия трех механизмов – классического динамо, внешней модулирующей причины (или долговременного цикла) и непосредственного механизма образования пятен. Для появления пятен важно не только наличие концентрированных полей, но и биполярности, замыкание силовых линий в ближних окрестностях.

АШ и ДС благодарны фонду Базис, грант 21-1-1-4-1 за поддержку работы.

**К вопросу об амплитуде долговременных колебаний
суммарной солнечной радиации в прошлом**

Огурцов М.Г.^{1,2}

¹*Физико-Технический институт им. Иоффе, С.-Петербург,
e-mail: maxim.ogurtsov@mail.ioffe.ru*

²*Главная Астрономическая обсерватория, Пулковое, С.-Петербург*

Проведена оценка того, насколько достоверно и точно современные реконструкции полной солнечной радиации (TSI) реконструируют вековые вариации этой величины в прошлом. Прогноз долгосрочных изменений TSI в 1978-2018 гг. произведен с использованием восьми палеореконструкций, охватывающих последние 12-13 вв. Используя реконструкции TSI описывают долговременные вариации с амплитудой от 0,22 Вт×м-2 до 2,36 Вт×м-2. Для прогноза был использован нелинейный аналоговый метод и результаты предсказания сравнивались с фактическими наблюдаемыми значениями. По результатам этого сравнения был сделан вывод, что наблюдаемые вариации TSI, как правило, лучше предсказываются реконструкциями с малой амплитудой. Однако исключить полностью возможность того, что солнечная радиация в прошлом испытывала значительные колебания пока нельзя. Обсуждаются некоторые возможные климатические последствия..

**Интервальные оценки времени старта
и пост-эруптивного ускорения коронального выброса
массы как инструмент проверки
энергетических гипотез**

Ожередов В.А., Струминский А.Б.

*Институт космических исследований, Москва,
e-mail: ozheredov2016@gmail.com*

Сценарии эволюции кинематических характеристик корональных выбросов массы (КВМ) могут сильно отличаться от простых стандартных моделей. Эти отличия построены на достаточно «тонких эффектах», которые невозможно выявить при помощи грубых оценок, основанных на стандартной аппроксимации зависимости координаты КВМ от времени. Ситуация усугубляется неработающей апертурой С1 коронографа LASCO и, как следствие, большой дисперсией оценки времени старта по стандартной аппроксимационной модели. Авторы данной работы построили алгоритм интервального оценивания кинематических характеристик КВМ и проанализировали сценарии некоторых конкретных событий:

1) КВМ от 17 и 25 февраля 2023 года. Моменты времен старта находятся позади активной фазы вспышек, с которыми увязываются эти КВМ в рамках стандартного подхода, а пост-эруптивная скорость мала ровно до момента активной фазы вспышки. Затем скорость начинает расти, пост-эруптивное ускорение явно имеет положительный знак. Гипотеза: такой сценарий связан с т.н. каннибализацией КВМ, когда более медленный КВМ подхватывается и поглощается более быстрым, но при этом возникшим позже. На возможность сценария каннибализации указывалось, в частности, в работе [1].

2) КВМ от 12, 24, и 28 февраля 2023 года. Гипотеза состоит в том, что вспышки, с которыми соответствующие КВМ увязываются в рамках стандартной модели, ускорить эти КВМ не могли. Интервальная оценка времен старта достоверно не пересекается с активными фазами вспышек. Косвенным подтверждением данной гипотезы является отсутствие радиовсплесков на низких частотах, от 245 до 610, что указывает на «низкую глубину залегания» вспышки.

- [1] Gopalswamy, N ; Kaiser, M.; Yashiro, S.; Reiner, M.; Desch, M.; MacDowall, R.; Gurnett, D.; Kurth, W.; Bougeret, J.; Vourlidas, A.; Howard, R. CME Cannibalism and Long-wavelength Radio Emission During the October-November 2003 Storms. American Geophysical Union, Spring Meeting 2004, abstract id. SH51A-07, 2004.

**Алгоритмическое определение значимых признаков
вспышки, индуцирующей солнечные
энергичные частицы**

Ожередов В.А., Струминский А.Б.

*Институт космических исследований, Москва,
e-mail: ozheredov2016@gmail.com*

Ранее [1] была выдвинута гипотеза о том, что определенные сценарии развития солнечных вспышек способны порождать потоки Solar Energetic Particles (SEP). Такие вспышки для краткости мы будем называть SEP-генераторами. Предполагаемые сценарии связаны с динамикой температуры вспышки, ее радиоизлучением и кинетической энергией сопровождающего ее Coronal Mass Ejection, CME. Таким образом, задачей является поиск значений признаков вспышки, при которых она с большой вероятностью будет являться SEP-генератором. Причем следует искать признаки, связанные с радиоизлучением во время активной (горячей) фазы вспышки, продолжительностью горячей фазы и, возможно, скоростями (максимальными, средними или же набранными во время ускорения в импульсе) CME.

В настоящей работе мы предлагаем метод машинного обучения для оценивания байесовской вероятности того, что вспышка является SEP-генератором, при условии наблюдения заданных признаков. В общем случае эта задача напоминает общеизвестную “Knapsack Problem”, решение которой за полиномиально зависящее от входных данных время найти невозможно. Однако в рамках данной задачи мы разработали т.н. «поиск параллельных пересечений», отсекающий неподходящие ветви стратегии перебора, и получили искомый критерий: выяснилось, что ему удовлетворяет 80% SEP-генераторов и только лишь 1,1% обычных вспышек.

- [1] И. Григорьева, А. Струминский. О необходимых и достаточных условиях солнечных протонных вспышек. Материалы конференции «Физика плазмы в солнечной системе — 2023»

Спектры микроволновых источников над пятнами по наблюдениям на РАТАН-600

*Опейкина Л.В.¹, Петерова Н.Г.², Топчило Н.А.³,
Абрамов-Максимов В.Е.⁴*

¹ САО РАН, Нижний Архыз, e-mail: lvo@sao.ru

² СПбФ САО РАН, С.-Петербург, e-mail: peterova@yandex.ru

³ СПбГУ, С.-Петербург, e-mail: topchilona@yandex.ru

⁴ ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: abramov-maximov@mail.ru

Радиоисточники над солнечными пятнами являются наиболее полно изученной деталью квазистационарного микроволнового излучения активной области. Многолетние наблюдения и моделирование показывают, что они представляют собой циклотронное излучение тепловых электронов на гармониках гирочастоты. В настоящее время наблюдения этих источников активно используются для определения параметров плазмы в атмосфере над пятном, поэтому, по-прежнему, представляет интерес исследование их наблюдаемых особенностей и уточнение модельных представлений о них. Мы используем спектры плотности потока, как наиболее надежно определяемый параметр, полученные на РАТАН-600 в диапазоне длин волн 1.8-10 см. Целями работы было получение информации о спектральном индексе пятенного излучения и проверка соответствия наблюдаемых спектров часто используемой упрощенной модели излучения, согласно которой обыкновенная мода генерируется на 2-й, а необыкновенная – на 3-й гармонике гирочастоты. Зависимость спектрального индекса от длины волны имеет локальный максимум, который соответствует основанию переходной области. Это дает еще один способ оценки магнитного поля по циклотронному излучению пятен. Для исследуемых пятен была определена величина магнитного поля. Измерения показали, что имеются расхождения в величине поля, определенного по спектральному индексу обыкновенной и необыкновенной моды излучения. Можно предположить, что расхождение связано с несоответствием параметров излучения наблюдаемых источников упомянутой выше упрощенной модели, которая использовалась при определении величины поля. Мы приводим дополнительные данные, подтверждающие то, что излучение исследованных нами радиоисточников нельзя описать упрощенной моделью.

**Экстремальные значения солнечной
пятнообразовательной деятельности на длительной
временной шкале**

Наговицын Ю.А.^{1,2}, Осипова А.А.¹

¹ *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург*

² *Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург*

Рассмотрены экстремальные уровни солнечной активности на временных шкалах 300-400 и 9000 лет. Суммарная площадь солнечных пятен AR — физический индекс активности Солнца — оценена при помощи реконструкции числа солнечных пятен, полученной в работе Ву и др. [1]. Основное исследование проведено именно в терминах этого индекса. Изменения солнечной активности в эпоху последних 300-400 лет достаточно хорошо представляют ее изменения на временах порядка девяти тысячелетий. Максимальный уровень солнечной активности для среднегодовых значений составил $AR_M = 2930 \pm 400$ м.д.п. (миллионных долей полусферы). Верхний предел для суточных значений составил $AR_M = 7500 \pm 2200$ м.д.п. для традиционных площадей пятен, скорректированных за перспективное искажение, и $AR_{OM} = 11400 \pm 3300$ м.д.д. (миллионных долей диска Солнца) для так называемых «наблюдаемых» площадей — проекций пятен на видимый диск Солнца. Оценены также максимальные среднегодовые значения чисел пятен $SN_M = 258 \pm 38$ и чисел групп пятен $GN_M = 12.3 \pm 2.4$. 11.3% времени солнечная активность находится на экстремально высоком уровне. 8.5% времени ее уровень соответствует минимуму Дальтона и ниже и 4.5% — крайне низкому. Таким образом, для солнечной активности более вероятны экстремально высокие уровни, чем экстремально низкие. В качестве практического приложения предложен прогноз предстоящего максимума 25-го 11-летнего цикла: 147 ± 20 , близкий к значениям других авторов.

- [1] Wu C.J., Usoskin I.G., Krivova N., Kovaltsov G.A., Baroni M., Bard E., Solanki S.K. // *Astronomy and Astrophysics*, 2018, v. 615, id. A93.

**Исторические Наблюдения Магнитных Полей
Солнечных Пятен и их Использование для
Восстановления Синоптических Карт Солнца**

Певцов Алексей А.¹, Тлатова К.А.², Певцов Александр А.¹

¹*National Solar Observatory, Boulder, Colorado, USA,
e-mail: apevtsov@nso.edu, aaevtsov@nso.edu*

²*Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория Российской
академии наук, Санкт-Петербург, e-mail: k.tlatova@mail.ru*

Исторические наблюдения магнитных полей в солнечных пятнах в комбинации с наблюдениями хромосферных факелов могут быть использованы для восстановления карт магнитных полей на Солнце [1]. Представлены результаты продолжающейся работы по оцифровке исторических наблюдений магнитных полей пятен с обсерваторий в Маунт Вилсон [2], Крыму [3] и Потсдаме [4]. Обсуждаются принципы реконструкции карт магнитных полей, и представлены примеры использования полученных магнитограмм для моделирования солнечного ветра в прошлом.

- [1] Virtanen I.O.I., Pevtsov A.A., Bertello L., Mursula K. // *Astron. Astrophys.*, 2022, vol. 667, id. A168, 9 pp.
- [2] <ftp://howard.astro.ucla.edu/pub/obs/drawings>
- [3] <https://sun.crao.ru/observations/sunspots-magnetic-field>
- [4] Grotrian W. // *Publ. des Astrophys. Obs. zu Potsdam*, 1953, vol. 29, Issue 97, p. 1.

Оценка максимальной площади медленно затухающих униполярных активных областей

Плотников А.А., Куценко А.С., Абраменко В.И.

*Крымская астрофизическая обсерватория, п. Научный,
e-mail: plotnikov.andrey.alex@yandex.ru*

В предыдущей работе [1] было показано наличие подгруппы активных областей, демонстрирующих аномально низкую скорость затухания магнитного потока. Одним из возможных объяснений такого поведения может являться предположение о том, что данные области являются остатками неких крупных активных областей после солнечного оборота.

В рамках модели турбулентной эрозии [2] делается вывод о том, что скорость движения границы магнитного элемента (а значит, и скорость затухания магнитного потока) определяется в том числе и начальными размерами элемента. Таким образом, сравнивая скорость затухания различных активных областей мы можем оценить и их площадь в начале процесса затухания.

В данной работе проведены оценки для 6 униполярных активных областей. Оказалось, что для медленно затухающих областей оцениваемые площадь и продолжительность затухания становятся неадекватно большими. Таким образом, предположение о предыстории данных активных областей не может объяснить низкую скорость их затухания.

[1] Plotnikov A.A., Abramenko V.I., Kutsenko A.S. MNRAS, 2023, v. 521, i. 4, p. 6293.

[2] Petrovay K., Moreno-Insertis F. // Astrophys. J., v. 485, i. 1, p. 398

**короткое событие с продолжительной фазой спада
по данным микроволновых наблюдений**

Полухина С.А.¹, Кашапова Л.К.²

¹*Санкт-Петербургский государственный университет,
С.-Петербург, e-mail: s.a.polukhina.astro@gmail.com*

²*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск,
e-mail: lkk@iszf.irk.ru*

Мы представляем результаты исследования спектральных и пространственных характеристик слабой солнечной вспышки SOL2022-02-03T04:21UT класса C1 по GOES. Особенностью данной вспышки является ее необычный временной профиль в микроволновом и мягком рентгеновском диапазонах: быстрая импульсная фаза сопровождается сравнительно длительной для такого класса событий фазой спада. Анализ спектральных и пространственных свойств события проведен с использованием данных Сибирского Радиогелиографа в диапазоне 6-12 ГГц, а также данных в рентгеновском диапазоне GOES и FERMI/GBM.

Во время импульсной фазы вспышки продолжительностью около 30 секунд микроволновый гиротронный спектр показывает присутствие ускоренных электронов (электронный спектральный индекс $\delta \approx 5.2$). Наблюдается излучение как из оптически толстой, так и оптически тонкой части микроволнового спектра.

Далее в микроволновом и мягком рентгеновском диапазонах наблюдается длинная фаза спада продолжительностью около 10 минут, с практически плоской формой временного профиля. Микроволновый спектр имеет вид, характерный для теплового тормозного излучения.

Проведен анализ положения источника излучения вспышки относительно структуры, видимой в УФ диапазоне SDO/AIA и на радиокартах 6-12 ГГц Сибирского Радиогелиографа. Обсуждаются возможные причины продолжительного остывания плазмы во время фазы спада.

**Результаты мониторинга возрастных потоков
заряженных частиц в околоземном космическом
пространстве в период 2022-2023 по данным КА РФ**

Протопопов Г.А.¹, Бондарев Е.А.¹, Чубунов П.А.¹,
Репин А.Ю.², Денисова В.И.², Цургаев А.В.²

¹АО «НИИ КП», Москва, e-mail: g.a.protopopov@mail.ru

²Институт прикладной геофизики, Москва,
e-mail: director@ipg.geospace.ru

В настоящее время на геостационарной орбите (ГСО) функционируют космические аппараты производства РФ (КА РФ), проводящие мониторинг радиационной обстановки в околоземном космическом пространстве, в задачу которых входит регистрация потоков заряженных частиц солнечных и галактических космических лучей.

Данный доклад содержит результаты мониторинга и анализ измерений потоков высокоэнергичных протонов и электронов, регистрируемых на ГСО в период 2022 – начале 2023 гг. КА РФ. В ходе работы также были использованы открытые данные КА серии GOES для проведения сравнительного анализа.

Используемые данные:

- КА РФ на ГСО, электроны с энергиями [МэВ]: $3 \leq E_e \leq 6$, $6 \leq E_e \leq 9$, $8 \leq E_e \leq 15$;
- КА РФ на ГСО, протоны с энергиями [МэВ]: $9 \leq E_p \leq 20$, $20 \leq E_p \leq 40$, $40 \leq E_p \leq 110$;
- высокоэнергичные протоны и электроны GOES.

Данные обоих КА демонстрируют определенное качественное согласие друг с другом, а измерения, осуществляемые КА РФ на ГСО, позволяют использовать их для уточнения моделей потоков заряженных частиц СКЛ и ГКЛ и ЕРПЗ, а также для прогнозирования среднесуточного изменения данных величин. В свою очередь, эти измерения также пригодны для использования при расчете поглощённой дозы и числа одиночных радиационных эффектов на ГСО.

Гелиогеофизические особенности 21 века и вирусные эпидемии

Рагульская М.В., Обриджо В.Н.

ИЗМИРАН, Москва, Россия, e-mail: ra_mary@mail.ru

Солнечная (СА) и геомагнитная активность первой четверти 21 века сильно отличается от предыдущих циклов инструментального наблюдения. В первую очередь обращают на себя внимание низкие числа Вольфа, продолжительные минимумы СА, высокий уровень ГКЛ. Геоэффективность спорадических явлений в 24 цикле СА также почти в 2 раза ниже, чем в предыдущих циклах [1]. Однако изменения солнечной динамики произошли и в крупномасштабном магнитном поле Солнца. В [2] проанализирована эволюция крупномасштабного магнитного поля на Солнце во время последних четырех циклов солнечной активности (с 1976 по начало 2022 года, данные WSO с сайта <http://wso.stanford.edu/>). Выявлено сильное снижение значения гармоники $g_{5,0}$ после 2000 г. Предложено использовать гармонику $g_{5,0}$ в качестве прогностического параметра, поскольку в циклах 21, 22 и 23 максимум этой гармоники опережал максимум солнечных пятен (на 1-1,5 года). В 25 цикле максимум пятой гармоники крупномасштабного магнитного поля был зафиксирован в середине 2022 года. Это позволяет предположить дату максимальной фазы 25 цикла как конец 2023 г. или первый квартал 2024 г. с прогнозируемым значением SSN в 25-м цикле около $125,2 \pm 5,6$. Таким образом, 24 и 25 циклы СА являются низкими циклами ($116,4$ в 24-м цикле), находящимися вблизи квази- столетнего минимума СА. Одновременно в 23-25 циклах СА количество вирусных пандемий более чем в 3 раза превысило их количество за предыдущие 7 циклов СА.

Анализ вирусных пандемий последних 150 лет выявил, что они происходят в экстремумах солнечной активности [3], в зависимости от соотношения фаз 11-летнего цикла и цикла Гляйсберга. В высоких циклах СА развитие пандемий происходит в максимумах 11-летнего цикла СА. При низких циклах СА вблизи минимума квази-векового цикла, развитие вирусных пандемий наблюдается как в максимумах, так и в минимумах 11-летнего цикла СА. В [4] был сделан прогноз, что в текущий период низкой столетней солнечной активности вирусные эпидемии будут происходить в 2 раза чаще, чем в 20 веке (и максимумах, и в минимумах СА). Начавшаяся весной 2023 года эпидемия кори, совпавшая с приближающимся максимумом 25 цикла СА, подтвердила этот прогноз (предыдущие эпидемии кори происходили в максимуме 24 цикла и в минимуме 25 цикла). Также оправдался прогноз, что к максимуму 25 цикла соотношение относительной смертности от Covid-19 по различным странам будет стремиться к коэффициенту «2» (который характерен для 20 века с высокой

СА), вместо коэффициента «10» в минимуме СА в 2019 г и начале 2020 года.

- [1] Белова А. Е. и др, Геоэффективность спорадических явлений в 24 солнечном цикле. 18-я конференция «Физика плазмы», Москва, 2023, стр.158
- [2] Obridko V.N., Sokoloff D.D. , Katsova M.M. Estimates of the Height and Date of the 25th Cycle of Solar Activity. *Astronomicheskii Tsirkulyar* № 1658, July 2023, DOI:10.24412/0236-2457-2023-1658-1-4
- [3] Ragul'skaya 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>
- [4] Рагульская М. В. Солнечная активность и факторы социального регулирования в пандемии COVID-19. «Физика Солнца и солнечно-земная физика», Санкт-Петербург, 2022, стр. 233-236. DOI: 10.31725/0552-5829-2022-233-236

Моделирование временных профилей событий в солнечных космических лучах

Рожкова Д.В.¹, Кашапова Л.К.², Мяжкова И.Н.³

¹ ИСЗФ СО РАН, Иркутск, e-mail: dariarozhkova@icloud.com

² ИСЗФ СО РАН, Иркутск, e-mail: lkk@iszf.irk.ru

³ НИЯФ МГУ, Москва, e-mail: irina@srd.sinp.msu.ru

События в солнечных космических лучах (СКЛ) в большинстве случаев порождаются солнечными вспышками. Они могут быть связаны не только со вспышками, произошедшими на видимой стороне Солнца, но на его обратной стороне. Отмечается, что форма временных профилей событий в СКЛ, связанных с вспышками на обратной стороне Солнца, не соответствует типичным импульсным или длительным профилям. Рентгеновское излучение служит основным источником информации о процессах энерговыделения и ускорения частиц в солнечных вспышках. Долгое время информация об этом виде излучения для вспышек на обратной стороне Солнца была редкой. В настоящее время возможность получать такого вида информацию становится все более и более доступной.

Мы представляем результаты тестирования программы, которая позволяет воспроизвести форму временного профиля событий СКЛ, используя простые предположения о распространении частиц в межпланетном пространстве. Моделировались временные профили протонов СКЛ в полосе энергии от 30 МэВ и выше, в предположении о том, что частицы получили ускорение только в атмосфере Солнца во время вспышки. Тестирование было проведено для нескольких импульсных вспышек, произошедших в западном полушарии Солнца и в центре диска. Было проведено моделирование временного профиля события в СКЛ, предположительно источником которого могла быть одна из вспышек, произошедших на обратной стороне Солнца 21 октября 2003 года.

Обсуждаются полученные результаты, возможности для усовершенствования модели и применение данного метода для исследования событий в СКЛ, не имеющих источника на видимой стороне Солнца.

**Аномальный разогрев верхних слоёв солнечной
хромосферы медленными магнитогазодинамическими
ударными волнами**

***Романов К.В.¹, Романов Д.В.¹, Романов В.А.²,
Степанов Е.А.², Лебедев А.А.²***

¹*Красноярский государственный педагогический университет
им. В. П. Астафьева, Красноярск, e-mail: k-v-romanov@ya.ru*

²*Саратовский национальный исследовательский государственный
университет им. Н. Г. Чернышевского, Саратов,
e-mail: valeriy.a.romanov@ya.ru*

Аномальный прогрев нижних слоёв солнечной атмосферы (хромосферы) имеет сложную пространственную структуру распределения температуры по высоте, и условно может быть разделён на три диапазона высот: 1. от уровня фотосферы до высоты достижения температурного минимума ($\simeq 500$ км); 2. от высоты температурного минимума до высот порядка 2000 км, где начинает проявляться феномен аномального прогрева; 3. от высот порядка 2200 км и выше, захватывая нижние слои солнечной короны, где реализуется резкий нелинейный рост температуры.

В работе исследуется физический механизм аномального разогрева солнечной плазмы в третьем диапазоне высот – в верхних слоях солнечной хромосферы. Из-за нелинейного роста температуры солнечная плазма становится высокопроводящей.

В этих условиях при наличии даже слабых магнитных полей возможен разогрев нижней короны Солнца МГД-ударными волнами. В работе проводится исследование по определению типа магнитогазодинамических ударных волн, вносящих основной вклад в разогрев нижних слоёв короны Солнца в диапазоне высот выше 2200 км от фотосферного уровня.

**Исследование параметров солнечной короны
с помощью наблюдаемой гравитационной
стратификации среды**

Рящиков Д.С.^{1,2}, Скопцова Е.В¹, Завершинский Д.И.^{1,2}

¹ Самарский университет, Самара, e-mail: e-mail:
lizascop88@gmail.com

² СФ ФИАН, Самара

В работе [1] было предложено использовать наблюдательные данные о высотных профилях температуры и плотности в гравитационном поле Солнца для получения информации о нагреве солнечной короны. В предположении, что в областях спокойного Солнца и долгоживущих корональных структурах мощности нагрева и охлаждения среды равны, показано, что высотные профили температуры и плотности определяются видом функциональных зависимостей нагрева и охлаждения от плотности и температуры среды.

В текущей работе используется известная модель охлаждения среды, рассчитанная с помощью базы данных CHIANTI [2], и полученные на основании измерений в статье [3] высотные профили температуры и концентрации электронов. Функция нагрева была смоделирована в виде степенной зависимости от температуры и плотности и найдены такие показатели степеней, при которых реализуются рассчитанные высотные профили и среда является устойчивой. Кроме того, для рассматриваемых областей были рассчитаны характерные времена затухания МГД-волн, связанные с эффектом теплового дисбаланса [4].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-10008 (<https://rscf.ru/project/23-22-10008/>) и Правительства Самарской области.

- [1] Riashchikov D.S. // MNRAS, 2023, v. 522, p. 572.
- [2] Del Zanna G. // ApJ, 2021, v. 909, p. 38.
- [3] Pascoe D.J. // Astrophys. J., 2019, v. 884, p. 43
- [4] Zavershinskii D.I. // Frontiers in Astronomy and Space Sciences, 2023, v. 10, p. 1167781.

Эффект двойного плазменного резонанса в электронно-позитронной плазме

Симонова Т.В., Шапошников В.Е.

*Институт прикладной физики, Нижний Новгород,
e-mail: simonovat@ipfran.ru*

В работе изучена неустойчивость электростатических волн в электронно-позитронной плазме при условии, что частота верхнего гибридного резонанса близка к одной из гармоник электронной гирочастоты. Неустойчивость обусловлена присутствием в равновесной плазме небольшой примеси электронов или позитронов с неравновесной функцией распределения типа «конус потерь».

В условиях, характерных для локального источника радиоизлучения с квазигармонической структурой пульсара в Крабовидной туманности, получены дисперсионные кривые электронных циклотронных волн и вычислены инкременты циклотронной неустойчивости. Показано, что наибольший инкремент неустойчивости продольных циклотронных волн реализуется для волн, частоты которых находятся в гибридной полосе частот, т.е. в частотном интервале между соседними гармониками гирочастоты, в котором расположена верхняя гибридная частота. В этом случае инкремент возрастает на 1-2 порядка. Показано также, что инкремент неустойчивости этих волн растет с приближением частоты верхнего гибридного резонанса к нижней границе гибридной полосы.

Также показано, что выражение для инкремента неустойчивости продольных циклотронных волн при условии двойного плазменного резонанса в электрон-позитронной плазме отличается от соответствующего выражения в электрон-протонной плазме удвоенным квадратом плазменной частоты.

**О природе субтерагерцового излучения солнечной
вспышки 04.05.22 на послеимпульсной фазе
по данным РТ-7.5**

***Смирнова В.В.¹, Цап Ю.Т.¹, Моторина Г.Г.^{2,3,4},
Моргачев А.С.², Барта М.⁴***

¹*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п.г.т. Научный,
e-mail: vsvvid.smirnova@yandex.ru*

²*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: g.motorina@yandex.ru*

³*Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе, С.-Петербург*

⁴*Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences, Ondřejov,
Czech Republic, e-mail: miroslav.barta@asu.cas.cz*

Максимум субтерагерцового излучения солнечных вспышек иногда соответствует послеимпульсной фазе вспышечного процесса, когда происходит конденсация вещества, сопровождаемого падением температуры и формированием коронального дождя, вследствие развития тепловой неустойчивости горячих корональных петель [1]. При этом, происходит увеличение оптической толщины, и, соответственно, рост потока оптически тонкого субтерагерцового излучения.

В данной работе исследуется связь субтерагерцового излучения солнечной вспышки SOL2022-05-04T08:45 с вариациями температуры и меры эмиссии горячих корональных петель, наблюдаемых на послеимпульсной фазе.

Показано, что оптически тонкая плазма корональных петель может давать существенный вклад в субтерагерцовое излучение исследуемого события.

- [1] Antolin P., Dolliou A., Auchère F., Chitta L. P., Parenti S., Berghmans D., Aznar Cuadrado R., et al. // A&A, 2023, v. 676, A112.

**Природа асимметрии распределения солнечных пятен
относительно солнечного экватора
в конце минимума Маундера**

Соколов Д.Д.

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,
Москва, e-mail: sokoloff.dd@gmail.com*

ИЗМИРАН, Москва

Дошедшие до нашего времени архивные наблюдения солнечной активности по данным о солнечных пятнах свидетельствуют о том, что в конце минимума Маундера распределение солнечных пятен было существенно асимметричным относительно солнечного экватора, так что доминировали пятна в южном полушарии Солнца. С конца прошлого века считается, что этот факт указывает на возникновение в соответствующую эпоху решения со смешанной четностью в уравнениях, описывающих солнечное динамо. Однако развитые с тех пор представления о работе солнечного динамо позволяют предложить другое, как кажется более простое, объяснение этой асимметрии и связать ее с небольшим контрастом между распределением источников солнечного динамо, прежде всего зеркальной асимметрии среды, между этими полушариями.

Жгутыые механизмы солнечной вспышки. эффект Паркера и дискретный характер энерговыведения

Соловьев А.А.

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-петербург, Россия, e-mail: solov.a.a@mail.ru*

Исследованы возможности вспышечного энерговыведения в одиночной магнитной петле. В основе модели — то свойство бессилового магнитного жгута, что при подъеме его в корону внешнее давление, удерживающее жгут от поперечного расширения, непрерывно падает и при падении его до некоторого критического значения продольное магнитное поле в жгуте обращается в нуль на той магнитной поверхности, где продольный электрический ток меняет знак. В этот момент плотность азимутального тока и бессилового параметр неограниченно возрастают на этой поверхности. Когда токовая скорость электронов превысит 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 высоком сопротивлении плазмы, значительно превышает дрейсеровское значение и обеспечивает эффективное ускорение заряженных частиц (до сотни Мэв). Для бессильных магнитных жгутов существует эффект, обнаруженный Паркером, который состоит в выравнивании вращательного момента (torque), приложенного к каждому поперечному сечению жгута, вдоль его магнитной оси за счет распространения торсионных альвеновских волн. Расход энергии азимутального поля, вызванный вспышечным энерговыведением в вершине петли, будет с определенной задержкой скомпенсирован потоком торсионных волн из нижележащих частей магнитной петли, что приведет к возобновлению аномального сопротивления. Это и порождает пиковую дискретность энерговыведения и ускорения частиц во вспышке.

Плотные и холодные волокна в солнечной короне

Соловьев А.А.

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-петербург, Россия, e-mail: solov.a.a@mail.ru*

Рассчитана структура солнечного коронального волокна с типичными для спокойных солнечных протуберанцев параметрами плазмы (концентрация частиц $10^{11} - 10^{12}$ в кубическом см, температура в наиболее холодной части – от 4-х до 20 тысяч К), расположенного горизонтально в короне на высотах в несколько десятков тысяч км, как верхняя часть слабо изогнутой скрученной магнитной петли, чьи ноги закреплены в фотосфере. Магнитное поле волокна – винтовое (жгутовое). Для поддержания поперечного равновесия имеется внешнее продольное поле, а, кроме того, присутствует слабое поперечное магнитное поле, которое оказывает сильное влияние на распределение давления и плотности газа в волокне. Характерной особенностью модели, впервые воспроизведенной теоретически, является наличие разрежения (cavity) снаружи от волокна. Про моделирована тонкая волоконная структура протуберанца, состоящего из многих плотных и холодных волоконцев, погруженных в слабое однородное горизонтальное магнитное поле. Показано, что наблюдаемые вертикальные перемещения элементов плазмы в протуберанце, обычно трактуемые как проявления «термической конвекции» в его теле, могут быть вызваны вертикальными механическими перемещениями отдельных магнитных волоконцев внутри тела протуберанца. Отмечено, что шировые (сдвиговые) движения плазмы на фотосфере могут изменить знак слабого поперечного поля и тем самым перевести магнитное волокно в предвспышечное состояние за счет резкого уменьшения плотности на его оси.

Временные закономерности ориентации магнитной биполярной анти-Хейловской структуры Солнца

Старкова Л.И.

ИЗМИРАН, Москва, г. Троицк, e-mail: starkova@izmiran.ru

Проведено исследование магнитных биполярных структур фотосферы Солнца. Использовались синоптические карты обсерватории Kitt Peak. Анализировалась временная эволюция биполей с анти-Хейловской ориентацией магнитного момента. Было установлено, что такая анти-Хейловская ориентация не является стабильной и меняется на <"стандартную» за время существования биполярной структуры. И такая смена ориентации может происходить не один раз. Установленные в результате анализа особенности временной ориентации магнитного момента изучаемых биполей указывают на то, что изменения этой ориентации носят случайный характер.

О формировании переходного слоя солнечной атмосферы

Степанов А.В.¹, Зайцев В.В.^{1,2}, Куприянова Е.Г.¹

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург, e-mail: astep44@mail.ru

² Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Предложен механизм формирования переходного слоя между хромосферой и короной, основанный на диссипации электрических токов в частично ионизованной плазме. Показано, что максимум джоулевой диссипации происходит в переходном слое вследствие повышенного сопротивления Каулинга, вызванного соударениями ионов с нейтральными частицами. Это приводит к эффективному нагреву токонесящих открытых магнитных трубок, что является причиной образования тонкого переходного слоя. Дается оценка ширины переходного слоя, которая зависит от мощности джоулевой диссипации, то есть от величины электрического тока.

**Темп ускорения протонов во вспышках М4.0 16 июля
и М5.7 17 июля 2023 года**

Струминский А.Б.¹, Садовский А.М.¹, Григорьева И.Ю.²

¹*Институт космических исследований РАН, Москва,
e-mail: astruminsky@gmail.com*

²*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: irina.2014.irina@mail.ru*

В событиях (1) М4.0 16 июля и (2) М5.7 17 июля 2023 года проведен анализ протонных и НХР возрастных темпа счета ASC SPI (Антисовпадательная защита спектрометра на ИНТЕГРАЛе). За ноль времени взято начало возрастных НХР >100 кэВ ACS SPI. Сделана оценка длительности ускорения протонов и темпа набора ими энергии по времени начала протонного возрастания ASC SPI. Протонные возрастания начались на +13 мин в (1) и на +30 мин в (2). Время запаздывания прихода протонов 500 МэВ и 100 МэВ при длине распространения 1.3 а.е. относительно электромагнитного сигнала составляет 6 мин и 17 мин, соответственно. Нагрев плазмы до 12 МК в (1) (начало ускорения протонов) был задержано на 2 мин относительно начала НХР (ACS SPI >100 кэВ) и микроволнового (15.4 ГГц) излучения, т. е. на ускорение и распространение протонов было только 11 мин. Поэтому, в (1) первыми могли быть протоны 500 МэВ, а в (2) — протоны 100 МэВ. Длительность ускорения протонов в (1) будет 300 с, а темп ускорения протонов должен был быть не менее 1.7 МэВ/с. В (2) длительность ускорения протонов будет 780 с, а темп ускорения протонов 0.13 МэВ/с. Во вспышках (1) реализовалось «быстрое» ускорение ~ 10 МэВ/с электронов («раннее» протонное возрастание ACS SPI), а во вспышке (М5.7) — «медленное» ускорение электронов ~ 1 МэВ/с («позднее» протонное возрастание).

Вспышки М4.0 16 июля и М5.7 17 июля 2023 года показывают, что наличие II типа радиоизлучения не является необходимым условием для ускорения и выхода протонов в межпланетное пространство. Наблюдение раннего и слабого протонного возрастания в (1) позволяет предполагать, что в событии 28 октября 2021 года (GLE73) после +10 мин могли прийти протоны >500 МэВ в количестве достаточном для регистрации ACS SPI, но не нейтронными мониторами.

**Анализ активных областей,
вызвавших события типа GLE**

Сулейманова Р.А.¹, Мирошниченко Л.И.², Абраменко В.И.¹

¹*КрАО РАН, Научный, e-mail: bictr97@gmail.com*

²*ИЗМИРАН, Москва, e-mail: leonty@izmiran.ru*

События типа Ground level enhancement (GLE) проявляются как резкое наземное возрастание солнечных космических лучей (СКЛ). Подобного рода события обусловлены вспышками или корональными выбросами масс (КВМ), которые, в свою очередь, связаны с активными областями (АО) на Солнце. В данной работе проведено отождествление и последующий анализ активных областей, которые вызвали GLE события. Из 72 GLE событий, наблюдавшихся в период с 1942 по 2017 гг., 69 было отождествлено с АО. Далее, АО были проклассифицированы с помощью классификации Хейла и магнито-морфологической классификации (ММК). В 94% случаев АО являются сложными по морфологии: 34 сложных АО против 2 портовых биполей класса β по классификации Хейла, 66 нерегулярных АО классов В1, В2, В3 против 1 регулярной АО класса А1 и 2 АО класса U (униполярны) по классификации ММК. Кроме того, были подсчитаны потоки АО, вызвавших GLE события в период 1997–2017 гг. Они были сравнены с потоками регулярных (класса А1) и наиболее нерегулярных (классы В2, В3) АО, наблюдавшихся в 23–24 солнечных циклах. Показано, что средний поток АО, создавших GLE-события, в 6 раз больше среднего потока регулярных АО и в 2 раза больше потока нерегулярных АО. Можно предположить, что АО, которые способны вызвать события типа GLE, как правило, должны обладать сложной морфологической структурой, а также большими значениями потоков.

**Ионосферные неоднородности
как литосферно-ионосферные проявления,
не связанные с гелио- и геомагнитной активностью,
выделенные над регионами исследования во время
сильных сейсмособытий при обработке
радиотехнической и геофизической информации
об условиях распространения
спутниковых радиосигналов**

Титова М.А.

*ИЗМИРАН им. Пушкина Н.В., Москва, Троицк,
e-mail: marititova@yandex.ru*

Технология мультиспутниковой радиоинтерферометрии основана на измерении вариаций ТЕС в трех разнесенных точках; такая конфигурация GPS-приемников называется GPS-интерферометром. Метод GPS-интерферометрии основан на отклике, зафиксированном в навигационном сигнале за счет динамики изменения во времени нерегулярных структур в среде корреляционным способом (направление и вектор скорости). В данном исследовании используется комбинация зарегистрированных фаз на двух рабочих частотах L1 и L2 и последующая фильтрация высокочастотного шума (с периодами менее 3-5 минут). И в данной работе применяется оценка скорости изменения параметра ТЕС во времени, то есть производной $dTES/dt$, но не самих значений ТЕС для исключения неопределенности начальной фазы регистрируемых сигналов. Установленные значения ТЕС фильтруются для получения флуктуационной составляющей, т.е. отклонений от равновесных значений.

Временной интервал наблюдения выбирается на основе соответствия набора данных статистическим расчетам и без потери разрешения, необходимого для временного анализа. Поскольку данные GPS представлены со стандартным разрешением 30 с, получается, что выбранный интервал наблюдения имеет нижний предел около 1 минута. Статистика исследуемого процесса должна содержать, по возможности, достаточное количество подсчетов без ошибок в измерениях или недостатка данных. Таким образом, предполагаемое время наблюдения составляет 2-4 ч (240-480 отсчетов). Выбранные вариации на каждой станции в рассматриваемом регионе используются для корреляционной обработки при обнаружении неоднородностей ионосферы. Способ имеет угловую зависимость амплитуды сигнала от направления визирования на спутник. Максимальная амплитуда наблюдается для перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), волновой вектор которых k перпендикулярен линии видимости r между приемником на земле и передатчиками на борту спутников системы GPS,

которые находятся в зоне приема.

Для структурирования данных по выбранным параметрам применяется метод кластерного анализа в геофизике. Кластерный анализ был проведен для выбранных параметров: координат субионосферных точек, направления движения структуры неоднородностей, времени наблюдения структуры ячейками подсети. Сложный алгоритм обработки массивов данных, основанный на модифицированном методе k-средних, реализован в прикладной программе CRASS GPS. Пакетные программы CRASS GPS были созданы на кафедре физики атмосферы физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Затем был проведен геофизический анализ и статистический анализ для интерпретации результатов. Для геофизического анализа используются данные обновленной цифровой модели границ литосферных плит. Результаты соответствуют реакции ионосферы на землетрясения с характерными волновыми параметрами проявления. Параметры ионосферы над сейсмически активными регионами сильно изменяются относительно показателей их регулярной изменчивости не только во время основного события, но и в период подготовки землетрясения и после активной фазы. Неоднородные структуры возникают не только в эпицентре, но и во всей области подготовки землетрясения, например, в активном разломе. Было обнаружено, что неоднородные структуры ионосферы, обнаруженные с помощью последовательного использования GPS-интерферометрии и кластерного анализа в выбранной сети наблюдений, географически связаны с местами орографических возмущений. Представленные результаты наглядно демонстрируют возможности совместного использования двух наблюдательных глобальных навигационных сетей с целью улучшения пространственного разрешения.

**75-лет Горной астрономической станции ГАО РАН.
Вклад в познание Солнца: открытия, ряды
наблюдений, прикладные исследования**

Тлатов А.Г.

*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН,
e-mail: tlatov@mail.ru*

В 2023 г. исполнилось 75 лет с момента начала непрерывных наблюдений за солнечной активностью на Кисловодской Горной станции Пулковской обсерватории РАН. Горная станция (ГАС) расположена на высоте 2070 м над уровнем моря, в 24 км от г. Кисловодска на горе Шат Жад Маз, входящей в систему Скалистого хребта. Большая высота над уровнем моря, благоприятное географическое положение и горный рельеф обеспечивают исключительную чистоту и прозрачность воздуха. Кроме того, здесь бывает много дней с ясной безоблачной погодой. Все это обеспечивает высокое качество изображений и непрерывность синоптических наблюдений во всех слоях атмосферы Солнца.

Станция создавалась М.Н. Гневьевым как комплексная солнечная обсерватория нового типа, объединяющая наблюдения различных солнечных явлений для получения цельной картины развития солнечной активности. В основе наблюдательной программы ГАС лежат синоптические наблюдения. В организации методов обработки наблюдений огромный вклад наряду с М.Н. Гневьевым внесла Р.С. Гневьева.

На станции проводятся наблюдения фотосферы, хромосферы в линиях H-alpha и CaHK, короны в линиях 5303Å и 6374Å, магнитного поля полного диска Солнца, непрерывные наблюдения хромосферной активности и поля скоростей, наблюдения в радиодиапазоне на волнах 5 см и 3 см. На станции установлен крупнейший в мире коронограф с диаметром объектива 53 см.

В докладе представлены основные научные достижения сотрудников станции, рассмотрены прикладные аспекты наблюдательной программы, в том числе и для прогнозирования космической погоды. Результаты наблюдений станции представлены на Интернет сайтах <http://solarstation.ru/> и <https://observethesun.com/>.

Тороидально-U-тороидальная модель солнечного динамо

Тлатов А.Г.

*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН,
e-mail: tlatov@mail.ru*

Динамо механизм создает магнитные поля на Солнце и является причиной солнечной цикличности. В настоящее время одной из наиболее популярных моделей является динамо Бэбкока-Лейтона. В этой модели из полей хвостовых частей активных областей формируется новое полоидальное магнитное поле, которое переносится к полюсам. Вместе с тем в этой модели есть труднообъяснимые моменты. Например, непонятен механизм эвакуации магнитных полей ведущей полярности. Действительно, меридиональная циркуляция препятствует проникновению магнитных полей через экватор и их взаимной диссипации.

Мы можем рассмотреть другой процесс. Предположим, что при всплытии магнитных трубок, формируются U-образные структуры, видимые как солнечные пятна ведущей и хвостовой полярности. Из-за наличия тилт-угла, поля хвостовых областей, как правило, находятся ближе к полюсам. При дифференциальном вращении происходит вытягивание подповерхностных магнитных полей в азимутальном направлении. Поля разных активных областей одного полушария пересоединяются образуя общее подповерхностное поле, направленное в основном азимутально, но также имеющее и полоидальную компоненту. Это поле переносится к высоким широтам, а затем вследствие транспортного механизма, к основанию конвективной зоны, где дополнительно происходит генерация тороидального магнитного поля нового цикла. Таким образом, в этом механизме магнитные поля ведущей полярности соединяются с магнитными полями хвостовой полярности в каждом полушарии, образуя вытянутые в азимутальном направлении U-образные поля. Супергрануляционная конвекция способствует удержанию азимутального поля. Эту модель можно условно обозначить как тороидально-U-тороидальную модель генерации или TUT.

Приводятся наблюдательные факты, свидетельствующие в обоснованности TUT модели. Предложена модификация уравнений динамо, описывающих данную модель.

**Активные областей ведущей и хвостовой полярности
магнитного поля**

Тлатова К.А., Тлатов А.Г.

*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН,
e-mail: tlatov@mail.ru*

В работе исследуются различия свойств солнечных пятен, ядер солнечных пятен и флоккул ведущей (L) и хвостовой (F) полярности магнитных полей. Для этого выполнен анализ нескольких видов наблюдательных данных. В том числе: наблюдения магнитных полей солнечных пятен обсерватории Маунт Вилсон 1917-2023 гг, наблюдения HMI/SDO в “белом” свете, магнитограммах и доплеровских скоростей 2010-2023, данные синоптических наблюдений Горной Астрономической станции, данные флоккул в линии CaIIK и другие.

Показано, что существуют различия в направлении магнитных полей по отношению к вертикали. Магнитные поля пятен ведущих областей отклонены к западу. Времени жизни солнечных пятен больше, чем для пятен F полярности. Пятна хвостовой полярности имеют более быстрое время диссипации, чем пятна ведущей полярности. Это может способствовать их более быстрому проникновению на высоких широтах, наряду с тильт-углом солнечных биполей. Рассмотрены скорости солнечных пятен разной полярности.

**Опыт исследований прилимбовой зоны Солнца
на крупных полноповоротных радиотелескопах**

*Топчило Н.А.¹, Нагнибеда В.Г.¹, Петерова Н.Г.²,
Рахимов И.А.³*

¹СПбГУ, С.-Петербург, Россия, e-mail: topchilona@yandex.ru

²САО РАН, С.-Петербург, Россия, e-mail: peterova@yandex.ru

³ИПА РАН, С.-Петербург, Россия, e-mail: rahimov@iaaras.ru

Наблюдения прилимбовой зоны имеют особое значение для исследований атмосферы Солнца, поскольку дают информацию о ее высотной структуре. Наблюдаемые на микроволнах хромосфера, переходная область и нижняя корона содержат большое количество нестационарных 3-х мерных структур разных типов и размеров, трудности изучения которых значительно увеличиваются в прилимбовой зоне из-за наличия сильного высотного градиента яркости. Так что, обычно используемый в радио наблюдениях на крупных полно-поворотных антеннах метод растрового картографирования, при выделении источников на лимбе Солнца приводит к большим ошибкам.

Для решения этой проблемы был предложен иной метод наблюдения – круговое сканирование, когда телескоп выполняет круговое движения относительно центра Солнца. Этот и другие разработанные методы были реализованы в начале 80-х годов на радиотелескопе РТ-22 ФИАН, а в конце 80-х и на РТ-22 КрАО. Подобные методы много лет использовались также для картографирования Солнца на радиотелескопе РТ-7.5 МГТУ им. Баумана на волнах 3.4 и 2.5 мм.

Для демонстрации преимуществ новых методов в представленной работе приведены результаты проведенных в 80-х – 90-х годах наблюдений солнечных протуберанцев над лимбом Солнца и волокон на диске в прилимбовых областях на волнах 8 мм и 1.35 см. Определены их положение, размеры вдоль лимба и высоты, измерено магнитное поле. Отмечены случаи наблюдений подъема и разрушения протуберанцев, а также выбросов корональной массы (СМЕ). Измерены значения радиорadiusа Солнца.

Рассмотрены перспективы организации наблюдений Солнца по предложенной методике на радиотелескопах, входящих в комплекс «Квазар-КВО» ИПА РАН. Представлены результаты первых наблюдения.

Итоги исследований структуры и физических параметров корональной плазмы Солнца по наблюдениям солнечных затмений на радиотелескопах ИПА РАН за период 1999-2022 годов

*Иванов Д.В.¹, Рахимов И.А.¹, Дьяков А.А.¹,
Олифинов В.Г.¹, Ерофеев Д.В.¹, Ильин Г.Н.¹,
Петерова Н.Г.², Топчило Н.А.³, Ипатов А.В.¹,
Андреева Т.С.¹, Хвостов Е.Ю.¹, Быков В.Ю.¹*

¹ИПА РАН, С.-Петербург, Россия, e-mail: rahimov@iaaras.ru

²САО РАН, С.-Петербург, Россия, e-mail: peterova@yandex.ru

³СПбГУ, С.-Петербург, Россия, e-mail: topchilona@yandex.ru

Представлен обзор результатов исследований микроволнового излучения Солнца, ведущихся на радиотелескопах ИПА РАН (РТ-32, РТ-13, РТ-2 и РВП) на частотах от 2 до 34 ГГц в обоих круговых поляризациях в течение двух 11-летних циклов солнечной активности (1999-2022) гг. Приведено краткое описание используемого затменного метода наблюдений и их обработки, а также технических характеристик приемной аппаратуры и системы регистрации. Метод применяется в периоды солнечных затмений и считается наилучшим по точности координатных измерений, позволяющим достичь предельно допустимое дифракцией угловое разрешение $\sim 1-3$ угл.сек. Приведены основные результаты наблюдений, касающиеся спектрально-поляризационных характеристик отдельных локальных деталей структуры солнечных источников излучения (солнечные пятна, межпятенное излучение, радиогрануляция, протуберанцы), а также общих характеристик Солнца – его эффективной яркостной температуры и радиорадиуса. В частности, в см диапазоне длин волн подтвержден кольцо/серпо-образный характер изображения солнечных пятен, а величина радиорадиуса оказалась заметно меньше измеряемой ранее.

По итогам наблюдений сделан вывод о целесообразности сочетания использования радиотелескопов, входящих в комплекс «Квazar-КВО» ИПА РАН, для решения задач прикладного характера с задачами фундаментальных исследований, а также внедрения иных, внезатменных способов солнечных наблюдений, ранее опробованных на крупных полноповоротных радиотелескопах типа РТ-22.

**Применение астрономической теории изменения
климата к объяснению глобальных климатических
событий в голоцене и позднем плейстоцене**

Фёдоров В.М., Фролов Д.М.

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

Астрономическая теория изменения климата предложена более 100 лет назад сербским математиком М. Миланковичем для объяснения глобальных климатических событий в плейстоценовой истории Земли: развития материковых оледенений и разделяющих их межледниковий. Для этого им были выполнены расчеты летней инсоляции на 65 градусов с.ш. Для объяснения глобальных климатических событий Миланковичем предложена схема изменения летней температуры на 65 параллели Северного полушария в эквивалентных широтах (Миланкович, 1939). В дальнейшем расчеты инсоляции выполнялись неоднократно с учетом появления новых небесных тел и изменений представлений в небесной механике (Шараф, Будникова, 1967; Vernekar, 1972; Berger, 1978, Laskar et al., 1993; Федоров, 2015; Ciopco, Soon, 2017). Однако, схема перехода от солярного климата к глобальному не менялась, то есть изменение температуры рассматривалось только в зависимости от вариаций приходящей летней радиации на 65 с.ш.

Для объяснения глобальных климатических событий в голоцене и позднем плейстоцене нами были выполнены расчеты приходящей на ВГА Земли солнечной радиации с высоким пространственным и временным разрешением. Были определены и рассчитаны солярные характеристики регулирующие интенсивность переноса радиационного тепла (меридионального, в системе океан – материк, межполушарного). В результате этого были получены объяснения причин глобальных климатических событий в голоцене и позднем плейстоцене.

**Влияние параметров спектра турбулентности вистлеров
на процессы рассеяния и ускорения нетепловых
электронов во вспышечной петле**

Филатов Л.В.¹, Мельников В.Ф.²

*¹ФГБОУ Нижегородский архитектурно-строительный
университет, Нижний Новгород, e-mail: filatovlv@yandex.ru*

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

В работах Filatov and Melnikov (Geom.Aeron. 2017, 2022) мы рассмотрели рассеяние, ускорение и микроволновое излучение нетепловых электронов в предположении колмогоровского спектра плотности энергии вистлеровских волн (с максимумом на низких частотах) в магнитной петле. Однако колмогоровский спектр свойственен стационарной турбулентности. При вспышке же, как на фазе роста, так и на фазе спада, имеет место нестационарное изменение как формы частотного спектра, так и плотности энергии турбулентности вистлеров. Причём форма спектра и положение спектрального максимума могут сильно отличаться от колмогоровского. В данной работе мы учли это обстоятельство.

Задавая различные формы спектров турбулентности вистлеров и решая кинетическое уравнение Фоккера-Планка для нетепловых электронов, мы исследовали нестационарные распределения по длине вспышечной магнитной петли, pitch-углам и энергиям электронов. В докладе рассмотрены особенности, связанные с локализацией и изотропизацией нестационарно инжектированных электронов в петле и изменениями их энергетического спектра. В частности, показано, что изначально степенной энергетический спектр инжектированных электронов, в зависимости от вида спектра вистлеров в турбулентности, может сильно видоизменяться, «уплощаясь» или «укручаясь» на определенных энергетических интервалах в диапазоне от 30 до 10000 кэВ. Полученные результаты численного моделирования процессов рассеяния и ускорения нетепловых электронов могут быть использованы для интерпретации спектров жёсткого рентгеновского, гамма и микроволнового излучений и диагностики спектральных свойств турбулентности волн во вспышечной петле.

**Решение граничной задачи об эволюции
медленных магнитоакустических волн
в горячих корональных петлях**

Фролова А.С.¹, Завершинский Д.И.^{1,2}

¹ *Самарский университет, Самара,
e-mail: ArtificialDarkness@yandex.ru*

² *СФ ФИАН, Самара, e-mail: dimanzav@mail.ru*

Магнитоакустические (МА) волны наблюдаются в солнечной короне. Обилие полученных данных позволяет задействовать МА волны в качестве диагностического инструмента корональной плазмы и ее структур. Для этой цели зачастую используют дисперсионные характеристики волн, такие как фазовая скорость, декремент, фазовый сдвиг. Однако наблюдаемое возмущение представляет собой суперпозицию не только магнитоакустических мод, но и энтропийных. Во многих случаях, сделать прямое разделение не представляется возможным. И наблюдаемое затухание возмущения, например, плотности, определяется как декрементом обеих волн, так и начальным распределением энергии между ними. По этой причине для диагностики необходимо использовать полное решение эволюционных уравнений.

В данной работе авторы рассмотрели задачу об эволюции возмущения сжатия заданного на границе корональной петли. Для этого цели с учетом приближения тонкой потоковой трубки и бесконечно сильного магнитного поля было получено эволюционное волновое уравнение. Авторы акцентировали внимание на коротких волнах, для которых влияние процессов нагрева и радиационного охлаждения пренебрежимо мало. Гравитационная стратификация не учитывалась. Основным механизмом затухания волн считалось затухание посредством теплопроводности. В рамках выбранной постановки задачи авторы нашли точное решение при помощи метода разделения переменных (метод Фурье) и принципа Дюамеля. Исследовалась динамика волн при различных граничных условиях. Решение было верифицировано путем сравнения с численным решением. Полученное точное решение планируется приложить для анализа стоячих волн (standing wave) и слошингов (sloshing oscillation) в корональных петлях.

Работа частично поддержана Министерством образования и науки (проекты FSSS-2023-0009, 0023-2019-0003).

**Роль крупномасштабных электрических токов
в нагреве корональной плазмы в спокойные временные
интервалы и во время вспышек**

Фурсяк Ю.А.

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный,
Республика Крым, Россия, e-mail: yuriy_fursyak@mail.ru*

В активных областях (АО) NOAA 12192 и 12371 изучение карт распределения температуры в короне, построенных на основе фотогелиографических данных, получаемых инструментом Atmospheric Imaging Assembly (AIA/SDO) [1] позволило обнаружить структуры с температурой более 10 МК во временные интервалы вне солнечных вспышек. Есть основания полагать, что эти структуры обозначают собой канал крупномасштабного электрического тока [2] на корональных высотах. Существование высокотемпературной корональной структуры на протяжении нескольких суток указывает на стационарный режим нагрева коронального вещества за счет омической диссипации крупномасштабных электрических токов. Выполненные расчеты показывают, что для эффективного стационарного нагрева коронального вещества электрическими токами необходимы аномальные значения проводимости плазмы ($\sigma = 10^{10} \text{ c}^{-1}$) и филаментация токового канала на элементы с поперечным сечением порядка 10^8 см и менее, что согласуется с результатами, полученными другими исследователями [3, 4]. Также показано, что нагрев корональной петли (системы петель) с поперечным сечением 10^8 см и длиной 10^{10} см до температуры в 10 МК на временных масштабах в несколько часов может быть реализован при условии аномальной проводимости плазмы электрическим током в короне величиной порядка 10^9 А.

- [1] Lemen J.R., Title A.M., Akin D.J., Boerner P.F, Chou C., et al. // Solar Phys., 2012, v. 275, p. 17.
- [2] Fursyak Yu.A., Kutsenko A.S., Abramenko V.I. // Solar Phys., 2020, v. 295, id. 19.
- [3] Solov'ev A.A. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2022, v. 515, p. 4981.
- [4] Solov'ev A.A., Riechokainen A., Smirnova V.V., Korol'kova O.A. // Geomagnetism and Aeronomy, 2022, v. 62, p. 1021.

Звезды типа γ Cas: происхождение рентгеновского излучения

Холтыгин А.Ф.¹, Рыспаева Е.Б.^{1,2}

¹ Санкт-Петербургский госуниверситет, С.-Петербург,
e-mail: afkholtugin@gmail.com

² Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, Крым

Звезды типа γ Cas представляют собой группу Ве звезд с необычно жестким рентгеновским излучением и рентгеновской светимостью $L_X \sim 10^{31}$ - 10^{33} эрг/с, что выше, чем у типичных Ве звезд, но меньше, чем у массивных рентгеновских двойных систем с Ве компонентами. Температура излучающей в рентгене плазмы достигает значений 10-20 кэВ и более в предположении об их полностью тепловом рентгеновском излучении. Существует две основные гипотезы о формировании рентгеновского излучения этой уникальной группы звезд. Согласно первой из них рентгеновское излучение звезд типа γ Cas – результат аккреции на компактный компаньон (магнитный белый карлик или нейтронную звезду). Вторая гипотеза – предположение, что основным процессом, приводящим к рентгеновскому излучению звезд типа γ Cas, является взаимодействие локальных магнитных полей звезды с её декреционным диском. Для тестирования этих гипотез мы проанализировали переменность рентгеновского и оптического излучения звезд типа γ Cas. Обнаружены регулярные компоненты вариаций рентгеновского блеска и вариаций профилей линий Н, Не и FeII в спектрах звезд γ Cas и HD 110432. Периоды оптической и рентгеновской переменности оказались близки и соответствуют типичным периодам нерадиальных пульсаций массивных ОБ звезд, что свидетельствует в пользу второй гипотезы и позволяет сделать предположение о модуляции структуры ветра Ве звезды в результате нерадиальных фотосферных пульсаций. Аномально жесткое рентгеновское излучение звезд типа γ Cas может быть объяснено в рамках гипотезы о вкладе нетеплового рентгеновского излучения, формирующееся в результате перезамыкания силовых линий локальных магнитных полей Ве звезды и её диска в рентгеновский спектр. Обсуждается также формирование нетеплового рентгеновского излучения в результате обратного комптоновского рассеяния УФ-фотонов Ве звезды на релятивистских электронах.

Развитие турбулентности за околосолнечной ударной волной в периоды геоэффективных событий в солнечном ветре

***Хохлачев А.А., Рахманова Л.С., Рязанцева М.О.,
Ермолаев Ю.И., Застенжер Г.Н.***

*Институт космических исследований РАН, Москва,
e-mail: aleks.xaa@yandex.ru*

Взаимодействие турбулентного солнечного ветра с магнитосферой Земли является комплексным процессом, определяющим геомагнитную обстановку. Периоды возмущенного солнечного ветра, отражающие такие процессы на Солнце, как корональные выбросы массы (КВМ), а также области сжатия перед ними, представляют наибольший интерес для изучения в связи с их доказанной геоэффективностью. Крупномасштабная динамика магнитосферы в условиях воздействия межпланетных источников КВМ в среднем изучена. Однако, как правило, анализ отклика магнитосферы на изменения условий в межпланетном пространстве опирается только на данные мониторов солнечного ветра. Исследование процессов, происходящих при этом в пограничных слоях магнитосферы, в частности, в магнитослое – переходной области между солнечным ветром и магнитосферой, – по-прежнему достаточно редки. Тем не менее, важность таких процессов, в том числе мелкомасштабных, неоднократно отмечалась в научной литературе. В частности, последние исследования, основанные на спутниковых данных, показали, что в периоды возмущенного солнечного ветра меняется характер динамики турбулентного каскада в магнитослое. Было отмечено усиление сжимаемой компоненты флуктуаций на кинетических масштабах на флангах магнитослоя в те периоды, когда в солнечном ветре наблюдаются области сжатия, чего не происходит в периоды КВМ.

В данной работе на основе статистического анализа рассмотрены особенности развития турбулентного каскада в магнитослое в периоды солнечного ветра, относящегося к КВМ и областям сжатия перед ними. Характеристики турбулентного каскада получены на основе Фурье-анализа флуктуаций магнитного поля, измеренного спутниками Themis в 2008 и 2014 гг. Орбиты спутников Themis позволяют получить распределение характеристик турбулентных флуктуаций во всем магнитослое от дневной части до флангов для различных условий в солнечном ветре. Полученные результаты свидетельствуют о различиях в динамике турбулентного каскада в магнитослое в периоды наблюдения межпланетных проявлений КВМ и в периоды наблюдений областей сжатия перед ними.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант №22-72-00105.

**Солнечные вспышки в белом свете и нагрев
температурного минимума альфвеновскими волнами**

Цап Ю.Т.¹, Копылова Ю.Г.²

¹*КрАО РАН, п. Научный, e-mail: yur_crao@mail.ru*

²*ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: yul@gaoran.ru*

В настоящее время считается, что в ходе вспышечного энерговыделения альфвеновские моды секундных периодов, генерируемые в солнечных корональных магнитных арках, могут приводить к эффективному нагреву области температурного минимума, ответственного за генерацию непрерывного оптического излучения. Между тем вопрос о времени распространения альфвеновских волн из короны в нижнюю атмосферу Солнца τ до сих пор детально не рассматривался. Текст тезисов набирается здесь. Текст тезисов набирается здесь.

В данной работе на основе ВКБ-приближения получены оценки τ применительно к различным моделям солнечной атмосферы. В свете современных представлений о солнечных вспышках найденные типичные значения τ (десятки минут) накладывают ограничения на механизм нагрева нижней атмосферы Солнца альфвеновскими волнами. Обсуждаются следствия полученных результатов.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ No.20-52-26006 и РФН No.22-12-00308.

Критерии определения спайков жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек

Чариков Ю.Е.¹, Склярова Е.М.¹, Шувалова В.И.²,
Шабалин А.Н.¹

¹ ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН

² ГАО РАН

Жесткое рентгеновское (ЖР) излучение солнечных вспышек представляет собой последовательность перекрывающихся импульсов, длительность которых составляет от нескольких секунд до сотен миллисекунд. Временной масштаб импульсов зависит от характерного времени процессов ускорения электронов, их распространения и излучения в магнитном поле вспышечных петель. Отдельный интерес представляют импульсы субсекундной длительности — спайки. Для выделения спайка на фоне шума традиционно применяется критерий превышения высокочастотной составляющей сигнала уровня в несколько стандартных отклонений. В докладе обсуждаются проблемы вычитания низкочастотной компоненты (тренда), выбора корректного способа определения величины стандартного отклонения, а также критерии отождествления спайковых структур. Предлагается определение тренда путем сглаживания исходного сигнала скользящей средней. Обсуждается выбор временного интервала сглаживания, оказывающий существенное влияние на результат. Рассматривается несколько способов определения стандартного отклонения — по всему высокочастотному временному ряду, в скользящем окне заданной ширины, а также как квадратного корня из трендовых значений. Различные способы по-разному учитывают шумовую составляющую вспышечного излучения. Особую важность представляет вопрос, связанный с критерием выявления спайков. Общим среди подходов, применяемых различными авторами, является требование превышения уровня трех стандартных отклонений хотя бы для трех последовательных бинов высокочастотного временного ряда, как минимум в двух энергетических каналах. Рассматривается альтернативный подход, включающий также такой критерий как количество бинов во временном профиле структуры. Обсуждение проблемы происходит на примере вспышек, зарегистрированных приборами BATSE/CGRO и Fermi GBM.

**Квазипериодические пульсации жесткого
рентгеновского излучения в локальных источниках
вспышечных аркад**

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

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

В работе проведен сравнительный анализ квазипериодических пульсаций (КПП) жесткого рентгеновского (ЖР) излучения локальных источников для ряда солнечных вспышек. Для обоснования наблюдаемых спектрометрами RHESSI пульсаций в ЖР излучении, произведены численные расчеты функции распределения ускоренных электронов в модели осциллирующей ловушки и в модели ансамбля последовательно коллапсирующих ловушек с нестационарными распределениями магнитного поля и плазмы в магнитной петле. Оценено влияние бетатронного и Ферми ускорения электронов в каспе на КПП ЖР излучения локальных источников. Для ряда вспышек на диске Солнца определена структура магнитного поля методом NLFFF. Показано, что важную роль при интерпретации обнаруженных КПП с периодами в диапазоне 5-80 с в различных локальных источниках играет оценка магнитной связности источников вспышечной аркады. КПП в источниках, принадлежащих различным магнитным структурам, обладают преимущественно различными характеристиками, в то время как магнитосвязанные источники обладают подобными характеристиками КПП.

**Эволюция микроволновых источников в диапазоне
3-12 ГГц во время импульсной фазы лимбовой
вспышки 5 февраля 2023 года**

Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К., Жданов Д.А.

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск,
e-mail: yulia@iszf.irk.ru*

В докладе представлены результаты исследования динамики пространственной структуры и спектральных свойств микроволновых источников лимбовой вспышки 5 февраля 2023 года. На изображениях в полосе 131 Å по данным SDO/AIA во время вспышки наблюдались горячая и холодная (темная) каспоподобные структуры. Эти структуры являются типичной особенностью эруптивной вспышки в стандартной модели, и их связывают с магнитным пересоединением и ускорением частиц. Эрупция была связана с темным каспом. Наличие ускоренных электронов во время данного события подтверждается наблюдениями ASO-S/HXI в диапазоне 50-100 кэВ.

Целью данной работы было проведение анализа динамики ускорения электронов и их высыпания с использованием наблюдений в микроволновом диапазоне.

Событие было зарегистрировано Сибирским радиогелиографом (СРГ) на частотах 3-12 ГГц, а также спектрополяриметрами ББМС и YAMAGAWA. Это позволило провести многоволновое исследование динамики вспышечного источника во время импульсной фазы с высоким временным и пространственным разрешением. Основной микроволновый источник располагается на горячем каспе. На фазе роста вспышки наблюдалось развитие горячего каспа, которое сопровождалось переходом от гиротронного излучения тепловых электронов к излучению нетепловых электронов. В докладе обсуждается, как выявленная динамика многоволнового микроволнового источника согласуется со сценарием, предсказываемым стандартной моделью.

**Солнечное UVB излучение как фактор воздействия
космического климата на глобальные эпидемии**

Шаповалов С.Н.¹, Чернышева М.П.²

¹ ФГБУ ААНИИ, Россия, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38,
e-mail: sharovalov@aaari.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ),
Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9,
e-mail: mp_chern@mail.ru

Представлены результаты анализа связи вспышек мировых эпидемий (Global Epidemics, GE), вызванных вирусами Эбола, гриппа АН1N1, АН7N9 и коронавирусом MERS-CoV, с глобальными солнечными факторами за период с 2008 г. по 2019 г. (24-й цикл SA). Данные по GE выбирались с ресурса www.whu.int и пересчитывались в годовые значения для проведения временного сравнения хода с среднегодовыми значениями радиоизлучения Солнца в диапазоне 2800 MHz (индекс F10.7 cm), среднего магнитного поля Солнца (Magnetic Field, MF) и приходящего к земной поверхности солнечного ультрафиолета в диапазоне UVB на границах $\lambda 295\text{nm}$ и $\lambda 315\text{nm}$. В результате обработки данных и построения графиков установлено функциональное изменение годовых значений GE, соответствующее закономерному ходу F10.7 cm ($r \sim 0.65$), MF ($r \sim 0.85$) и $\lambda 315\text{nm}$ ($r \sim 0.83$), а также иллюстрации «Схемы идеального расположения эпидемий гриппа (в две волны) на солнечном цикле» (А.Л. Чижевский). Показана схема связи GE с механизмами 11-летнего и 22-летнего циклов SA посредством излучения UVB. Сделан вывод о зависимости динамики глобальных эпидемий от временного изменения UVB на границе $\sim \lambda 315\text{nm}$, которое тесно коррелирует с вариацией MF. Отмечена особенность неравномерного распределения годовых доз суммарного излучения UVB на Земном шаре ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$), что может определять различие уровней патогенности одного вируса в разных регионах Земли. Приведен краткий прогноз динамики GE на период 25 цикла SA (2020–2032 гг.).

**Исследование солнечных вспышек и связанных с ними
протонных событий, произошедших 4 и 9 августа
2011 года**

Шаховская А.Н.¹, Григорьева И.Ю.²

¹*Крымская Астрофизическая Обсерватория, Республика Крым,
пгт.Научный, e-mail: anshakh@yandex.ru*

²*Главная Астрофизическая Обсерватория, Пулковое,
Санкт-Петербург, e-mail: irinaga@gmail.com*

2-9 августа 2011 года на Солнце были продуктивными две активные области 11261 и 11263 NOAA, с общими корональными петлями. В этих АО произошли 5 SXR вспышек класса М и одна класса X В результате этих вспышек произошли 4 протонных события: 2, 4, 8, и 9 февраля. В этой работе исследуются вспышки 4 и 9 февраля, вызвавшие наиболее сильные протонные события. Для анализа этих событий используются данные инструментов SDO AIA, GOES и RSTN. Производятся сравнения двух вспышек и протонных возрастных.

**Изменение периода длиннопериодной компоненты
ежемесячного ряда числе Вольфа в зависимости от
соотношения долей достоверной и восстановленной
частей ряда**

Шибает А.И.

МГУ им. М.В. Ломоносова Москва, e-mail: alexshibaev@yandex.ru

В работе исследована длиннопериодная компонента ежемесячного ряда чисел Вольфа (WSN: Wolf's Sunspot Numbers) в зависимости от пропорций восстановленной и достоверной частей ряда. Получена зависимость периода низкочастотной гармоник при постепенном уменьшении доли восстановленных данных и отмечен четкий рост периода.

Аналогичная зависимость наблюдается при оценке периода цикла Гляйсберга: период меняется от 80 до 110 лет при накоплении достоверных данных в ряде [1]. Анализ проводился для старой и новой версий ряда WSN. Отмечены значительные различия в динамике изменения периода длиннопериодной компоненты этих версий.

- [1] Шибает А.И. Зависимость периодов «вековой» гармоник от протяженности исследуемых рядов для старой и новой версий ряда чисел Вольфа // Труды XV конференции молодых ученых — 2018 ИКИ РАН, Москва, 2018, с. 154 – 157.

Шаблон периода «огибающей» максимумы достоверных циклов ряда чисел Вольфа

Шибает И.Г.¹, Шибает А.И.²

¹ИЗМИРАН, e-mail: *ishib@izmiran.ru*

²МГУ им. М.В. Ломоносова

Наличие групп циклов с большими / меньшими амплитудами и чередование этих групп позволяет предположить существование длиннопериодного цикла солнечной активности (СА) с эпохами повышенной / пониженной активности. Поэтому разумно иметь портрет (шаблон), отражающий основные характеристики этих групп, что позволит давать качественную и полу количественную оценку эпох СА в прошлом и будущем.

В 1939 г. Гляйсберг, опираясь на Цюрихский ряд (1750–1928 гг.) и сглаживая максимумы циклов по четырем значениям, выделил среди них два максимума и два минимума, что указывало на длиннопериодную составляющую ряда (цикл Гляйсберга) с периодичностью их максимумов / минимумов в семь-восемь циклов [1], а позже дал уточненное значение периода ~ 80 лет. Фактически анализировалось 16 циклов: 9 циклов из восстановленных данных и 7 циклов из достоверных данных. С накоплением доли достоверных данных и увеличении длины ряда чисел Вольфа (WSN) от 18 до 24 циклов этот период плавно возрастает до десяти-одиннадцати циклов [2]. При анализе только достоверной части ряда была выделена 150-летняя гармоника [3], это соответствует периодичности максимумов в четырнадцать циклов, что разумно взять за асимптотику периода синус-аппроксимации всего ряда WSN.

В работе определение свойств эпох максимума / минимума СА опирается на характеристики циклов $10 \div 23$ (14 циклов, полный период в 153 года и учитывается связь амплитуды циклов с их длительностью). В основу формирования шаблона положена «огибающая» максимумы этих циклов $A_{13}=P_1+A_2+A_3$, которая включает длиннопериодную компоненту (P1) и огибающие основной (A2) и второй (A3) гармоник достоверной части ряда WSN [3]. Это позволяет учесть отличия в длительности периодов повышенной / пониженной активности и более реалистично описать их уровни.

- [1] Gleissberg W. A long-periodic Fluctuation of the Sun-spot Numbers // Observatory. V. 62. P. 158 – 159. 1939.
- [2] Shibaev A. Connection between period of low-frequency component Wolf's numbers (WNS) and length of Wolf's numbers series // Aerospace Research in Bulgaria, V. 29, P. 5–9, 2017.

- [3] Шибает И.Г. Оценка восстановленной части ряда чисел Вольфа и возможность её коррекции // *Астрономический вестник*. // Т. 42. № 1. С. 66 – 74. 2008. Шаблон периода «огнибающей» максимумы достоверных циклов ряда чисел Вольфа

Формирование квазипериодических осцилляций в корональной плазме

*Шивидов Н.К., Сапралиев М.Е., Дертеев С.Б.,
Бембитов Д.Б., Михальев Б.Б.*

*Калмыцкий государственный университет имени
Б.Б. Городовикова, Элиста, e-mail: bbtikh@mail.ru*

Типичным примером корональных осцилляций служат волны сжатия, наблюдаемые в полярных областях [1]. Здесь колебания часто имеют квазипериодический характер. С точки зрения корональной сейсмологии они интересны тем, что дают спектр частот и, следовательно, содержат больше информации, чем обычные осцилляции. Для получения этой информации используются модели, позволяющие связать параметры плазмы с параметрами колебаний. Отмечено, что наряду с теплопроводностью появление квазипериодических осцилляций возможно под действием эффекта дисбаланса между нагревом и радиационными потерями [2].

Одна из таких моделей предложена в работах [3, 4], где учтены оба указанных эффекта. Мы показываем, что квазипериодические осцилляции под их действием появляются в различных частотных интервалах. Частоты определяются распределением групповой скорости при наличии локального минимума. При этом большая частота характерна для точки минимума, а меньшая частота определяется его шириной. Разработаны простые методы для оценки частот. Они дают примерные значения периодов от 3 до 30 минут, характерные для акустических волн в полярной области.

- [1] Krishna Prasad S., Banerjee D., Gupta G.R. // *Astron. Astrophys.*, 2011, v. 528, p. L4.
- [2] Zavershinskii D.I., Kolotkov D.Y., Nakariakov V.N., Molevich N.E., Ryashchikov D.S. // *Phys. Plasmas*, 2019, v. 26, 082113.
- [3] Дертеев С.Б., Шивидов Н.К., Гаваев Б.С., Михальев Б.Б. // XXVI Всероссийск. ежегод. конф. по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика — 2022». 3-7 октября 2022 г. Сб. тезисов. СПб, ГАО РАН, с. 34.
- [4] Derteev S., Shividov N., Bembitov D., Mikhalyaev B. // *Physics*, 2023, v. 5, p. 215.

**Электродинамические характеристики рассеяния
квазиэлектростатических волн на проводниках
в околоземной плазме в различных условиях**

Широков Е.А.

*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород,
e-mail: eshirokov@ipfran.ru*

Рассмотрены модельные задачи о рассеянии квазиэлектростатических волн на идеальных проводниках различной геометрии (бесконечно длинный круговой цилиндр, тонкий провод конечной длины) в магнитоактивной плазме. Посредством разделения переменных в уравнении в частных производных и выделения сингулярного члена в интегральном уравнении найдены соответствующие аналитические представления индуцированного тока, компонент рассеянного электромагнитного поля и сечения рассеяния.

Полученные результаты проанализированы для случая рассеяния квазиэлектростатических волн естественного происхождения (свистовых волн) на антеннах космических аппаратов в околоземной плазме. Рассмотрены различные внешние условия, определяемые, в частности, космической погодой, изучено влияние этих условий на электродинамические характеристики рассеяния.

Результаты могут быть актуальны при анализе спутниковых данных по регистрации квазиэлектростатических волн и при планировании соответствующих радиофизических экспериментов в околоземной плазме.

**Аномальные квазиреккурентные
вариации космических лучей
в сентябре 2014 – феврале 2015 годов**

***Шлык Н.С., Белов А.В., Обриджо В.Н., 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*

Исследован период аномального поведения потока галактических космических лучей в сентябре 2014 г. – феврале 2015 г., проявившихся в значительной модуляции их потока с периодом, близким к периоду вращения Солнца. Проанализировано состояние солнечного магнитного поля, изменение параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля в указанный период. Обсуждаются причины возникновения долготной асимметрии в распределении галактических космических лучей во внутренней гелиосфере, проявившейся в аномальных квазиреккурентных вариациях в исследуемом периоде.

Обновлённая версия «Каталога звёзд с активностью солнечного типа»

Шляпников А.А.

Научный, Крым, e-mail: aas@craocrimea.ru

С момента опубликования второй версии представляемого Каталога, описание которого дано в [1], прошло более трёх лет. Мировые астрономические базы данных пополнились за прошедшее время большим объёмом информации, что потребовало внесения изменений и дополнений в новую – третью версию «Каталога звёзд с активностью солнечного типа» (CSSTA-3 – Catalogue of Stars with Solar-Type Activity).

Ревизия данных позволила уточнить типы переменности звёзд и изъять из второй версии CSSTA те, которые не соответствуют определённым критериям. В новую версию каталога включена информация об амплитудах переменности, периодах обращения объектов и возможных циклах активности звёзд – как следствие долговременных малоамплитудных изменений блеска, опубликованная в третьей реализации обработки данных наблюдений обсерватории GAIA [2]. Выполнено сравнение ранее содержащихся в CSSTA данных и вновь найденных. Увеличено число, соответствующее обнаруженным и кандидатам в экзопланеты, которые обращаются вокруг звёзд, представленных в CSSTA-3. Последнее должно способствовать уточнению типу переменности объектов [3].

Все рассмотренные выше дополнения в CSSTA-3 проиллюстрированы в докладе.

- [1] Гершберг Р.Е., Клиорин Н.И., Пустильник Л.А., Шляпников А.А. // «Физика звёзд средних и малых масс с активностью солнечного типа», Москва, 2020, с. 768.
- [2] Gaia Collaboration. Gaia Early Data Release 3 (Gaia EDR3) // VizieR Online Data Catalog, 2020 — <https://cdsarc.cds.unistra.fr/viz-bin/cat/I/350>
- [3] Шляпников А.А. // Труды XXVI Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца, С.-Петербург, 2022, с. 319.

Статистический анализ вспышечной активности SMLM из каталога CSSTA в области GWE

Шляпников А. А.

Научный, Крым, e-mail: aas@craocrimea.ru

В докладе представлен поиск и анализ вспышечной активности звёзд средних и малых масс (SMLM — Stars with Mid- and Low-Mass) Главной последовательности из каталога «Звёзд с активностью солнечного типа» (CSSTA – Catalogue of Stars with Solar-Type Activity) [1] в одной из областей локализации гравитационно-волнового события (GWE — Gravitational Wave Event). Работа выполнена с целью оценки возможности отождествления вспыхивающих звёзд на широкоугольных телескопах с малой апертурой и значительным покрытием наблюдаемой области неба в районе поиска кандидатов на отождествление с GWE. Для более детального анализа поведения объектов, использованы более крупные инструменты. Учитывая кратковременность явления и необходимость однозначного соответствия между GWE и вероятным кандидатом, наличие в изучаемой области SMLM, которые демонстрируют вспышечную активность, может приводить к ложному(?) отождествлению.

На примере анализа фрагмента области локализации GWE S230627с, 90% которой занимает на небе около 90 квадратных градусов, рассмотрена статистика SMLM из CSSTA. 1077 звёзд каталога, из которых 25 являются визуально двойными в радиусе одной угловой секунды, расположены в рассматриваемой области GWE. По данным GAIA DR3 [2] 1073 звезды в полосе G имеют блеск от 21.3 до 7.8 звёздной величины, а 506 объектов имеют звёздную величину ярче 16-й. Для 1055 звёзд в полосе BP – диапазон от 22.6 до 8.2, и 498 ярче 16-й. Для 1059 звёзд в полосе RP – диапазон от 19.8 до 7.3, и 575 ярче 16-й. Для 1055 звёзд в рассчитанной полосе V объекты находятся в диапазоне от 24.0 до 8.0 звёздной величины, и 498 ярче 16-й.

Для анализа вспышечной активности были обработаны данные наблюдений области GWE S230627с, полученные на телескопе ZTF [3]. Из 1077 звёзд CSSTA в базе данных ZTF содержится информация о 700 SMLM. Вспышечную активность в полосе R(zr) с амплитудой, превышающей уровень 3 сигма от среднего значения блеска, продемонстрировали 476 звёзд. При этом число зарегистрированных событий находилось в пределах от 1 до 22. У 23-х объектов зафиксировано более 10 вспышек.

Карта локализации GWE S230627с, распределение в области SMLM из CSSTA, гистограммы и графики, отображающие статистический анализ данных будут представлены в докладе.

- [1] Catalogue of Stars with Solar-Type Activity (CSSTA) — <http://craocrimea.ru/aas/CATALOGUES/CSAST/CSAST.html>
- [2] Gaia Collaboration. Gaia Early Data Release 3 (Gaia EDR3) // VizieR Online Data Catalog, 2020 — <https://cdsarc.cds.unistra.fr/viz-bin/cat/I/350>
- [3] Zwicky Transient Facility (ZTF) — <https://www.ztf.caltech.edu>

**Отождествление в оптическом диапазоне
27 рентгеновских источников среди звёзд средних
и малых масс Главной последовательности**

Шляпников А. А.

Научный, Крым, e-mail: aas@craocrimea.ru

При выполнении перекрёстной идентификации объектов из каталога «Звёзд с активностью солнечного типа» (CSSTA) [1], содержащего 314618 объектов, с 11754237 переменными источниками GAIA DR3 [2] было обнаружено 31966 совпадений в радиусе одной угловой секунды. Работа производилась с целью уточнения данных об амплитудах переменности звёзд CSSTA. Последующее сравнение найденных объектов с информацией о них в базе данных SIMBAD [3], позволило уточнить типы переменности и выяснить, что 32 источника рентгеновского излучения (РИ) содержатся в CSSTA. 27 из них не имеют оптического отождествления в SIMBAD, где также отсутствует информация о спектральных типах объектов.

Для всех 32 РИ из CSSTA были определены спектральные типы (K1.5 – M1.5), эффективные температуры (3900 – 5253 K), радиусы (0.6 – 1.1) и светимости (0.1 – 0.6) в солнечных единицах. Ранее пять объектов определены как переменные. Три имеют вращательную модуляцию на кривых блеска с амплитудами 0.009, 0.011 и 0.025 звёздных величин в полосе V. Один объект – переменный неопределённого типа с амплитудой 0.41 звёздная величина в полосе R. И одна звезда с зафиксированной переменностью, но не определённой амплитудой.

По данным GAIA DR3 для всех 32 РИ найдены G, BP и RP звёздные величины. Для некоторых объектов обнаружена вспышечная активность с амплитудами от 3 до 0.5 звёздных величин в полосах BP и RP.

В докладе представлены идентификационные карты всех РИ и части объектов окрестностей в оптическом диапазоне спектра, кривые блеска и примеры поиска по ним периодической составляющей. Необходимые дополнения об исследованных объектах будут внесены в CSSTA.

- [1] Catalogue of Stars with Solar-Type Activity (CSSTA) — <http://craocrimea.ru/aas/CATALOGUES/CSAST/CSAST.html>
- [2] Gaia Collaboration. Gaia DR3 Part 4. Variability // VizieR Online Data Catalog, 2020 — <https://vizier.cds.unistra.fr/viz-bin/VizieR-3?-source=I/358/varisum>
- [3] SIMBAD Astronomical Database – <http://simbad.cds.unistra.fr/simbad>

Предвестники солнечных вспышек в УФ и рентгеновском излучении

Чариков Ю.Е.¹, Шохин Т.Д.², Шабалин А.Н.¹

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

² СПбПУ Петра Великого

Рассматриваются проявления предвспышечной активности на часовом временном интервале по данным GOES SXR, SDO/AIA и RHESSI. Первоначально анализируется временная история мягкого рентгеновского излучения в диапазонах (1-8)Å и (0.5-4)Å (данные GOES) на часовом интервале перед мощными вспышками M и X классов. Особый интерес вызывают предвспышечные повышения потока излучения, которые могут ассоциироваться как с вспышками меньших классов (B и C), так и просто локальными возрастаниями потока. Такого рода предвспышечные события будем относить к предвестникам. После отбора подобных событий мы анализировали пространственно – временную структуру в линиях УФ излучения на данном временном интервале. Высокое пространственное разрешение прибора AIA ($\sim 1''$) позволяет получать изображения в УФ линиях и изменение потока во времени. Рентгеновские контуры RHESSI накладывались на УФ изображения. По магнитограммам прибора SDO/HMI восстанавливалась структура магнитного поля в пакете SolarSoft/GXS. В докладе обсуждается предыстория мощных солнечных вспышек X7 Sol2014.02.25T 00:47 и X3 Sol2015.05.05.T 22:11. Вспышка Sol2014.02.25T 00:47 интересна тем, что в момент пика излучения происходит выброс филамента в структуре магнитного поля двух биполей. Повышение потока в мягком рентгеновском излучении (предвестник) происходит за ~ 20 минут до вспышки. Магнитные конфигурации в данной АО, а также эруптивный филамент, выбрасываемый в момент пика вспышки, расположены в плоскости изображения в течение всего события. Оценка концентрации плазмы на стадии предвестника составляет $\sim 2 \times 10^{10} \text{ см}^{-3}$, а характерные значения температуры 3.7 МК для предвестника в 00:28 UT. Аналогичные параметры для основной фазы вспышки: температура в пике 19 МК, концентрация плазмы $\sim 10^{11} \text{ см}^{-3}$. Биполярная структура магнитного поля, предполагаемая по наблюдениям в УФ-линии 94Å, на стадии предвестника, вспышки с последующим выбросом эруптивного филамента соответствует модели tether-cutting.

Исследования корональных струй

Якунина Г.В.

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

Корональные струи являются одним из наиболее распространенных явлений в атмосфере Солнца. Они тесно связаны с другими активными явлениями, такими как выбросы корональной массы, ускорение частиц в солнечном ветре и нагрев короны. Современные наблюдения струй проводятся в широком диапазоне длин волн от рентгеновского излучения до экстремального ультрафиолета (EUV). Многие вопросы о струях все еще остаются открытыми и нуждаются в уточнении.

Уникальные наблюдения зондов Parker Solar Probe (PSP) и Solar Orbiter (SolO), с высоким разрешением предоставляют дополнительную информацию об источниках ускорения солнечного ветра (СВ) и нагрева солнечной короны. Задачей этих зондов является исследование внутренней гелиосферы, чтобы разобраться в нагреве солнечной короны и происхождении СВ.

Одним из ранних результатов, полученных PSP, является обнаружение быстрых внезапных отклонений в радиальной ориентации магнитного поля ("switchbacks"). Как формируется это сложное поведение в солнечной короне, пока неизвестно. Вероятно, <"switchbacks играют решающую роль в нагреве солнечной короны. Такие <"переключения"> направления магнитного поля увеличивают скорость СВ. Но их происхождение остается неясным. Наблюдения также показали, что СВ имеет сильно изменчивую структуру. Зонд Parker дает беспрецедентную возможность для исследований источников медленного СВ.

Первые наблюдения в экстремальном ультрафиолетовом диапазоне (EUI) на борту Solar Orbiter выявили сложные мелкомасштабные корональные структуры чрезвычайно малых размеров, вплоть до 400 км. Это самые маленькие корональные струи, наблюдаемые на спокойном Солнце, которые также называются <"campfires" (<"кострами">). Было обнаружено множество небольших струй (джетов), живущих до 100 сек, в пределах корональной дыры. Предполагается, что такие струи могут быть источниками СВ. Эти результаты подчеркивают важность первых наблюдений SolO, которые выявили сложные мелкомасштабные корональные структуры.

Оглавление

<i>Абраменко В.И.</i> Магнитные структуры солнечной фотосферы как системы с самоорганизацией	3
<i>Абрамов-Максимов В.Е., Бакунина И.А.</i> Частота встречаемости предвспышечных флуктуаций микроволнового излучения активных областей Солнца	4
<i>Мелкумян А.А., Белов А.В., Абунина М.А., Шлыж Н.С., Абунин А.А.</i> Межпланетные возмущения, связанные с разными типами солнечных источников: сравнение в солнечных циклах 23 и 24	5
<i>Агапова Д.В., Белов С.А.</i> Оценка влияния теплового дисбаланса на точность определения параметров корональных структур	6
<i>Алексеева Л.М.</i> Фоновые мелкомасштабные магнитные поля верхней хромосферы Солнца и их способность генерировать пучки надтепловых протонов	7
<i>Андреева О.А., Малащук В.М., Плотников А.А.</i> Унифицированная база данных наблюдений Солнца в линии HeI 1083nm, полученных на телескопе БСТ-2/КраО	8
<i>Андреева О.А.</i> Динамика корональных дыр в солнечном минимуме 24/25	9
<i>Азтемов З.С., Цап Ю.Т.</i> Зависимость скорости солнечного ветра от площади корональных дыр и их фрактальной размерности	10
<i>Бакунина И.А., Мельников В.Ф., Кузнецов С.А., Абрамов-Максимов В.Е.</i> Магнитные жгуты во вспышечных активных областях	11
<i>Белов С.А., Завершинский Д.И., Агапова Д.В.</i> Влияние теплопроводности на определение параметров корональных структур по медленным волнам	12
<i>Березин И.А., Тлатов А.Г., Шрамко А.Д., Дормидонтов Д.В., Кирпичев Р.Н., Сапешко В.И., Скорбеж Н.Н.</i> Система прогнозирования космической погоды по данным наблюдений телескопов ГАС ГАО	13
<i>Беспалов П.А., Савина О.Н.</i> Возбуждение коротких радиоимпульсов релятивистскими электронами в разреженной магнитосфере коричневого карлика	14
<i>Биленко И.А.</i> Циклические вариации меридиональных потоков на Солнце	15
<i>Богод В.М., Лебедев М.К., Овчинникова Н.Е., Рипак А.М., Стороженко А.А.</i> О новых возможностях наблюдения спектральных линий в короне Солнца	16

<u>Бондарь Н.И., Алексеев И.Ю., Антонож К.А., Пить Н.В.</u> Параметры поверхностных неоднородностей М-карлика V647 Her по результатам фотометрии	17
<u>Васильев Г.И., Константинов А.Н., Кудрявцев И.В., Мелихова Е.С., Остряков В.М., Павлов А.К.</u> Ограничения на параметры солнечных супервспышек по данным о космогенном радиог углероде в лунном реголите	18
<u>Веретененко С.В., Дмитриев П.Б.</u> Влияние солнечной активности на траектории внетропических циклонов в Северной Атлантике: новые данные	19
<u>Вернова Е.С., Тясто М.И., Баранов Д.Г.</u> Широтная зависимость 22-летней вариации слабых магнитных полей	20
<u>Волубуев Д.М., Макаренко Н.Г.</u> Долгосрочный прогноз Эль-Ниньо с учетом вариаций солнечной активности	21
<u>Georgieva K., Kirov B., Asepovski S.</u> Parker's spiral and space weather Головка А.А. Особенности поля скоростей в активной области 12673, связанные со вспышками 6 сентября 2017 года	22
<u>Голубчина О.А.</u> Яркостные температуры и электронные концентрации сантиметрового излучения отдельных областей на Солнце по данным наблюдений максимальной фазы солнечного затмения 29.03.2006 года	23
<u>Гопасюк О.С.</u> Статистические характеристики активных областей и вспышечных лент, связанных с мощными вспышками	24
<u>Горбачев М.А.</u> Влияние экзопланет на вспышечную активность звезд	25
<u>Григорьева И.Ю., Шаховская А.Н., Струминский А.Б.</u> Возможны ли дополнительные источники протонов в событиях с 4-ого по 10-ое сентября 2017 года?	26
<u>Губченко В.М.</u> О способе измерения кинетического параметра электромагнитной добротности потока горячей бесстолкновительной плазмы, формирующего магнитосферы в космических и лазерных плазмах	27
<u>Гуляев Р.А.</u> К истории Горной астрономической станции. Создание Большого коронографа	28
<u>Гуляева Т.Л.</u> Идентичность вариаций АЕ и Аро индексов в 23-24 солнечных циклах	29
<u>Птицына Н.Г., Данилова О.А., Тясто М.И.</u> Связь жесткости обрезаия космических лучей с параметрами солнечного ветра и магнитосферы во время бури 9-10 ноября 2004 года: анализ эффектов гистерезиса	30
<u>Птицына Н.Г., Демина И.М.</u> Среднесрочные колебания солнечной активности и вариации геомагнитного поля	31
	32

<i>Дергачев В.А.</i> Продолжительность климатических циклов в течение последних миллионов лет, четвертичный период и современные климатические аномалии	33
<i>Дертеев С.Б., Сапралиев М.Е., Шивидов Н.К., Бембитов Д.Б., Михалаяев Б.Б.</i> Нелинейные акустические волны в солнечной короне	35
<i>Маурчев Е.А., Диденко К.А.</i> Моделирование прохождения космических лучей через атмосферу Земли	36
<i>Дмитриев П.Б.</i> О характере вращения солнечной короны по наблюдениям радиоизлучения Солнца (10.7 см) на протяжении 19-24 циклов солнечной активности	37
<i>Долгачева С.А.</i> Анализ параметров ионосферы по данным станции вертикального зондирования авроральной зоны за длительный период	38
<i>Евдокимова М.А., Хабаровова О.В., Кислов Р.А., Малова Х.В., Попов В.Ю.</i> Особенности течения солнечного ветра в окрестности токовых слоев	39
<i>Ерофеев Д.В.</i> Вариации скорости солнечного ветра (microstreams) в околоземном пространстве и в удаленных областях гелиосферы	41
<i>Живанович И., Соловьев А.А., Миллер Н.О.</i> Долгопериодические колебания основных параметров солнечного пятна	42
<i>Жукова А.В.</i> Циклические вариации регулярных и нерегулярных активных областей в северном и южном полушариях в 23-м и 24-м циклах	43
<i>Завершинский Д.И., Молевич Н.Е., Ряциков Д.С., Белов С.А., Фролова А.С.</i> Исследование свойств энтропийных и медленных магнитоакустических волн в горячих корональных петлях в сильном магнитном поле	44
<i>Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г.</i> Оценка влияния размеров и положения солнечных пятен относительно источника мощного взрывного процесса в Активной Области на параметры магнитного поля в тени пятен	45
<i>Зайцев В.В., Шапошников В.Е., Кузнецов А.А., Симонова Т.В.</i> Быстрые электроны в плазмосфере экзопланеты HD 189733b	46
<i>Золотова Н.В., Возмянин М.В.</i> Собрание зарисовок и восстановленных солнечных данных 1610–1720 годов	47
<i>Иванов В.Г.</i> Связь длины и амплитуды 11-летних циклов для тысячелетнего ряда пятенного индекса	48
<i>Илларионов Е.А., Березин И.А., Тлатов А.Г.</i> Солнечный ветер и параметры корональных дыр	49
<i>Ишков В.Н.</i> Текущий 25 цикл солнечной активности в преддверии фазы максимума	50

<i>Ишков В.Н.</i> Особенности вспышечного энерговыделения текущего 25 солнечного цикла: вспышечно-активные группы пятен	52
<i>Калинин А.А., Калинина Н.Д.</i> Расчет спектра магнитостатической модели волокна для центра диска Солнца	54
<i>Калинин М.С., Крайнев М.Б.</i> Влияние коротярующихся областей вза- имодействия солнечного ветра на интенсивность ГКЛ в 2D зада- чах модуляции	55
<i>Кальтман Т.И., Овчинникова Н.Е., Лебедев М.К.</i> Моделирование спектра радиоизлучения надпятенного источника с квазиперио- дической структурой магнитного поля	57
<i>Кацова М.М., Обриджо В.Н., Соколов Д.Д.</i> Циклы активности звёзд и экзопланеты: поиск связей	58
<i>Кириллов А.К., Василенко Т.А.</i> Нелокальные эффекты солнечных затмений	59
<i>Kirov V., Georgieva K., Asenovski S.</i> The relationship between sunspot numbers and coronal mass ejections within an 11-year solar cycle	61
<i>Кислов Р.А., Кузнецов В.Д.</i> Природа коротации с Солнцем и спи- ральные формы высокоскоростных потоков из корональных дыр	62
<i>Кичатинов Л.Л.</i> Приповерхностный слой неоднородного вращения Солнца: происхождение и значение для динамо	63
<i>Клиорин Н., Рогачевский И., Кузанын К.М., Сафиуллин Н.Т.</i> Ди- намо звезд солнечного типа: уроки для физики Солнца	64
<i>Кобяков Д.</i> Расположение и симметрия сверхпроводимости в ней- тронных звездах	66
<i>Кобяков Д.</i> Некоторые свойства плазменной оболочки коричневого карлика	67
<i>Комитов Б.П., Кафтан В.И.</i> Триггерные эффекты воздействия яв- лений космической погоды на земную тектонику и возможное па- раллельное влияние на климат	68
<i>Корягин С.А., Викторов М.Е.</i> Филаментация плазменного шнура внутри магнитной арки в лабораторном эксперименте по модели- рованию плазменных структур в солнечной короне	69
<i>Костюченко И.Г., Вернова Е.С.</i> Эволюция площади и скорости вра- щения по диску крупных групп пятен, наблюдавшихся на актив- ной долготе на спаде активности цикла 24	70
<i>Котов В.А.</i> Загадка колебаний Солнца	71
<i>Крайнев М.Б.</i> О двух последних солнечных циклах и текущей фазе СЦ 25	72
<i>Крайнев М.Б., Базилевская Г.А., Калинин М.С., Михайлов В.В., Свирижевская А.К., Свирижевский Н.С.</i> Интенсивность галак- тических космических лучей в период инверсии гелиосферного магнитного поля	73

<u>Кропотина Ю.А., Петрукович А.А., Быков А.М., Чугунова О.М.</u> Ионная вейбелевская неустойчивость вблизи фронта головной ударной волны Земли	74
<u>Кудрявцев И.В., Дергачев В.А., Наговицын Ю.А.</u> Вариации климата Земли и солнечная активность в Голоцене	75
<u>Купряков Ю.А., Бычков К.В., Белова О.М., Горшков А.Б., Малютин В.А.</u> Наблюдения и расчет модели спокойного протуберанца	76
<u>Куценко А.С., Теребиж В.Ю., Долгополов А.В., Абраменко В.И., Семенов Д.Г., Скирута В.Н., Плотников А.А., Лопухин В.И.</u> Новый инструмент для спектрополяриметрии Солнца в КрАО РАН	77
<u>Лаврухин А.С., Алексеев И.И.</u> Границы полярных сияний во время магнитных бурь	78
<u>Литвишко Д.В., Куценко А.С., Абраменко В.И.</u> Циклические вариации площадей анти-Хейловских активных областей в 23-м и 24-м солнечных циклах	79
<u>Лопин И.П.</u> Медленные магнито-акустические колебания в искривленных корональных петлях	80
<u>Лысов И.И., Курочкин Е.А., Князева И.С., Деркач Д.А.</u> Разработка программного комплекса для анализа Солнечной активности на основе данных РАТАН-600	81
<u>Макаренко Н.Г., Князева И.С., Волобуев Д.М.</u> Тестирование детерминированной компоненты в гелиофизических временных рядах методами ТДА	82
<u>Маурцев Е.А., Абунин А.А.</u> Солнечный радиотелескоп ИЗМИРАН РТ-1 для определения индекса F10.7	83
<u>Мельников В.Ф., Мешалкина Н.С.</u> Эффект сжатия корональных петель во время вспышки 24.02.2023	84
<u>Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.</u> Особенности пространственного распределения электронной температуры солнечной короны	85
<u>Мерзляков В.Л.</u> Максимальная энергия солнечной вспышки в современную эпоху	86
<u>Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.</u> Эволюция анти-хейловских областей на Солнце	87
<u>Можаровский С.Г.</u> Всплывание петель поперечного магнитного поля в спокойной фотосфере	88
<u>Моторина Г.Г., Флейшман Г.Д., Yu S., Nita G.</u> Энергетический баланс в солнечной вспышке 7 сентября 2017 года	89
<u>Муратова Н.О., Кашапова Л.К.</u> Статистический анализ параметров радиовсплесков III типа по данным Солнечного спектрополяриметра метрового диапазона (ССМД)	90

<i>Наговицын Ю.А.</i> К 75-летию Кисловодской Горной станции ГАО: исторические аспекты регулярных наблюдений солнечной активности	91
<i>Наговицын Ю.А., Осипова А.А., Иванов В.Г.</i> К 75-летию Правила Гневышева-Оля: современный статус	92
<i>Наговицын Ю.А.</i> Две популяции групп солнечных пятен и правило Гневышева-Вальдмайера	93
<i>Накаряков В.М., Елагандула Н.В.</i> Damping Cases of Kink Oscillations of Solar Coronal Loops	94
<i>Обридко В.Н., Шибалова А.С., Соколов Д.Д.</i> Циклическая вариация структуры и энергетики солнечных магнитных полей	95
<i>Огурцов М.Г.</i> К вопросу об амплитуде долговременных колебаний суммарной солнечной радиации в прошлом	96
<i>Ожередов В.А., Струминский А.Б.</i> Интервальные оценки времени старта и пост-эруптивного ускорения коронального выброса массы как инструмент проверки энергетических гипотез	97
<i>Ожередов В.А., Струминский А.Б.</i> Алгоритмическое определение значимых признаков вспышки, индуцирующей солнечные энергичные частицы	98
<i>Опейкина Л.В., Петерова Н.Г., Топчило Н.А., Абрамов-Максимов В.Е.</i> Спектры микроволновых источников над пятнами по наблюдениям на РАТАН-600	99
<i>Наговицын Ю.А., Осипова А.А.</i> Экстремальные значения солнечной пятнообразовательной деятельности на длительной временной шкале	100
<i>Певцов Алексей А., Тлатова К.А., Певцов Александр А.</i> Исторические Наблюдения Магнитных Полей Солнечных Пятен и их Использование для Восстановления Синоптических Карт Солнца	101
<i>Плотников А.А., Куценко А.С., Абраменко В.И.</i> Оценка максимальной площади медленно затухающих униполярных активных областей	102
<i>Полухина С.А., Кашапова Л.К.</i> короткое событие с продолжительной фазой спада по данным микроволновых наблюдений	103
<i>Протопопов Г.А., Бондарев Е.А., Чубунов П.А., Репин А.Ю., Денисова В.И., Цургаев А.В.</i> Результаты мониторинга возрастных потоков заряженных частиц в околоземном космическом пространстве в период 2022-2023 по данным КА РФ	104
<i>Рагульская М.В., Обридко В.Н.</i> Гелиогеофизические особенности 21 века и вирусные эпидемии	105
<i>Рожкова Д.В., Кашапова Л.К., Мягкова И.Н.</i> Моделирование временных профилей событий в солнечных космических лучах	107

<i>Романов К.В., Романов Д.В., Романов В.А., Степанов Е.А., Лебедев А.А.</i> Аномальный разогрев верхних слоёв солнечной хромосферы медленными магнитогазодинамическими ударными волнами	108
<i>Рящиков Д.С., Скопцова Е.В., Завершинский Д.И.</i> Исследование параметров солнечной короны с помощью наблюдаемой гравитационной стратификации среды	109
<i>Симонова Т.В., Шапошников В.Е.</i> Эффект двойного плазменного резонанса в электронно-позитронной плазме	110
<i>Смирнова В.В., Цап Ю.Т., Моторина Г.Г., Моргачев А.С., Барта М.</i> О природе субтерагерцового излучения солнечной вспышки 04.05.22 на послепульсовой фазе по данным РТ-7.5	111
<i>Соколов Д.Д.</i> Природа асимметрии распределения солнечных пятен относительно солнечного экватора в конце минимума Маундера	112
<i>Соловьев А.А.</i> Жгуты механизмы солнечной вспышки. эффект Паркера и дискретный характер энерговыделения	113
<i>Соловьев А.А.</i> Плотные и холодные волокна в солнечной короне	114
<i>Старкова Л.И.</i> Временные закономерности ориентации магнитной биполярной анти-Хейловской структуры Солнца	115
<i>Степанов А.В., Зайцев В.В., Курьянова Е.Г.</i> О формировании переходного слоя солнечной атмосферы	116
<i>Струминский А.Б., Садовский А.М., Григорьева И.Ю.</i> Темп ускорения протонов во вспышках M4.0 16 июля и M5.7 17 июля 2023 года	117
<i>Сулейманова Р.А., Мирошниченко Л.И., Абраменко В.И.</i> Анализ активных областей, вызвавших события типа GLE	118
<i>Титова М.А.</i> Ионосферные неоднородности как литосферно-ионосферные проявления, не связанные с гелио- и геомагнитной активностью, выделенные над регионами исследования во время сильных сейсмособытий при обработке радиотехнической и геофизической информации об условиях распространения спутниковых радиосигналов	119
<i>Тлатов А.Г.</i> 75-лет Горной астрономической станции ГАО РАН. Вклад в познание Солнца: открытия, ряды наблюдений, прикладные исследования	121
<i>Тлатов А.Г.</i> Тороидально-U-тороидальная модель солнечного динамо	122
<i>Тлатова К.А., Тлатов А.Г.</i> Активные областей ведущей и хвостовой полярности магнитного поля	123
<i>Топчило Н.А., Нагнибеда В.Г., Петерова Н.Г., Рахимов И.А.</i> Опыт исследований прилибмовой зоны Солнца на крупных полноповоротных радиотелескопах	124

<i>Иванов Д.В., Рахимов И.А., Дьяков А.А., Олифирова В.Г., Ерофеев Д.В., Ильин Г.Н., Петерова Н.Г., Топчило Н.А., Ипатов А.В., Андреева Т.С., Хвостов Е.Ю., Быков В.Ю.</i> Итоги исследований структуры и физических параметров корональной плазмы Солнца по наблюдениям солнечных затмений на радиотелескопах ИПА РАН за период 1999-2022 годов	125
<i>Фёдоров В.М., Фролов Д.М.</i> Применение астрономической теории изменения климата к объяснению глобальных климатических событий в голоцене и позднем плейстоцене	126
<i>Филатов Л.В., Мельников В.Ф.</i> Влияние параметров спектра турбулентности вистлеров на процессы рассеяния и ускорения нетепловых электронов во вспышечной петле	127
<i>Фролова А.С., Завершинский Д.И.</i> Решение граничной задачи об эволюции медленных магнитоакустических волн в горячих корональных петлях	128
<i>Фурсяк Ю.А.</i> Роль крупномасштабных электрических токов в нагреве корональной плазмы в спокойные временные интервалы и во время вспышек	129
<i>Холтыгин А.Ф., Рыспаева Е.Б.</i> Звезды типа γ Cas: происхождение рентгеновского излучения	130
<i>Хохлачев А.А., Рахманова Л.С., Рязанцева М.О., Ермолаев Ю.И., Застенкер Г.Н.</i> Развитие турбулентности за околосолнечной ударной волной в периоды геоэффективных событий в солнечном ветре	131
<i>Цап Ю.Т., Копылова Ю.Г.</i> Солнечные вспышки в белом свете и нагрев температурного минимума альфвеновскими волнами	132
<i>Чариков Ю.Е., Склярёва Е.М., Шувалова В.И., Шабалин А.Н.</i> Критерии определения спайков жесткого рентгеновского излучения солнечных вспышек	133
<i>Шабалин А.Н., Овчинникова Е.П., Чариков Ю.Е.</i> Квазипериодические пульсации жесткого рентгеновского излучения в локальных источниках вспышечных аркад	134
<i>Шамсутдинова Ю.Н., Кашапова Л.К., Жданов Д.А.</i> Эволюция микроволновых источников в диапазоне 3-12 ГГц во время импульсной фазы лимбовой вспышки 5 февраля 2023 года	135
<i>Шаповалов С.Н., Чернышева М.П.</i> Солнечное UVB излучение как фактор воздействия космического климата на глобальные эпидемии	136
<i>Шаховская А.Н., Григорьева И.Ю.</i> Исследование солнечных вспышек и связанных с ними протонных событий, произошедших 4 и 9 августа 2011 года	137
<i>Шибанов А.И.</i> Изменение периода длиннопериодной компоненты ежемесячного ряда числа Вольфа в зависимости от соотношения долей достоверной и восстановленной частей ряда	138

<i>Шибает И.Г., Шибает А.И.</i> Шаблон периода «огibaющей» максимумы достоверных циклов ряда чисел Вольфа	139
<i>Шивидов Н.К., Сапралиев М.Е., Дертеев С.Б., Бембитов Д.Б., Михалеев Б.Б.</i> Формирование квазипериодических осцилляций в корональной плазме	141
<i>Широков Е.А.</i> Электродинамические характеристики рассеяния квазиэлектростатических волн на проводниках в околоземной плазме в различных условиях	142
<i>Шлык Н.С., Белов А.В., Обриджо В.Н., Абунина М.А., Абунин А.А.</i> Аномальные квазиреккурентные вариации космических лучей в сентябре 2014 – феврале 2015 годов	143
<i>Шляпников А.А.</i> Обновлённая версия «Каталога звёзд с активностью солнечного типа»	144
<i>Шляпников А.А.</i> Статистический анализ вспышечной активности SMLM из каталога CSSTA в области GWE	145
<i>Шляпников А.А.</i> Отождествление в оптическом диапазоне 27 рентгеновских источников среди звёзд средних и малых масс Главной последовательности	147
<i>Чариков Ю.Е., Шохин Т.Д., Шабалин А.Н.</i> Предвестники солнечных вспышек в УФ и рентгеновском излучении	148
<i>Якунина Г.В.</i> Исследования корональных струй	149
Оглавление	150
Список авторов	159

Список авторов

- Абраменко В.И., 3, 77, 79, 102, 118
Абрамов-Максимов В.Е., 4, 11, 99
Абунин А.А., 5, 83, 143
Абунина М.А., 5, 143
Агапова Д.В., 6, 12
Алексеев И.И., 78
Алексеев И.Ю., 17
Алексеева Л.М., 7
Андреева О.А., 8, 9
Андреева Т.С., 125
Антонюк К.А., 17
Асеновски С., 22, 61
Ахтемов З.С., 10
Базилевская Г.А., 73
Бакунина И.А., 4, 11
Баранов Д.Г., 20
Барта М., 111
Белов А.В., 5, 143
Белов С.А., 6, 12, 44
Белова О.М., 76
Бембитов Д.Б., 35, 141
Березин И.А., 13, 49
Беспалов П.А., 14
Биленко И.А., 15
Богод В.М., 16
Бондарев Е.А., 104
Бондарь Н.И., 17
Быков А.М., 74
Быков В.Ю., 125
Бычков К.В., 76
Василенко Т.А., 59
Васильев Г.И., 18
Веретененко С.В., 19
Вернова Е.С., 20, 70
Викторов М.Е., 69
Волобуев Д.М., 21, 82
Вохмянин М.В., 47
Георгиева К., 22, 61
Головко А.А., 23
Голубчина О.А., 24
Гопасюк О.С., 25
Горбачев М.А., 26
Горшков А.Б., 76
Григорьева И.Ю., 27, 117, 137
Губченко В.М., 28
Гуляев Р.А., 29
Гуляева Т.Л., 30
Данилова О.А., 31
Демина И.М., 32
Денисова В.И., 104
Дергачев В.А., 33, 75
Деркач Д.А., 81
Дертеев С.Б., 35, 141
Диденко К.А., 36
Дмитриев П.Б., 19, 37
Долгачева С.А., 38
Долгополов А.В., 77
Дормидонтов Д.В., 13
Дьяков А.А., 125
Евдокимова М.А., 39
Елагандула Н.В., 94
Ермолаев Ю.И., 131
Ерофеев Д.В., 41, 125
Жданов Д.А., 135
Живанович И., 42
Жукова А.В., 43
Завершинский Д.И., 12, 44, 109, 128
Загайнова Ю.С., 45
Зайцев В.В., 46, 116
Застенкер Г.Н., 131
Золотова Н.В., 47
Иванов В.Г., 48, 92
Иванов Д.В., 125
Илларионов Е.А., 49
Ильин Г.Н., 125
Ипатов А.В., 125
Ишков В.Н., 50, 52

Калинин А.А., 54
Калинин М.С., 55, 73
Калинина Н.Д., 54
Кальтман Т.И., 57
Кафтан В.И., 68
Кацова М.М., 58
Кашапова Л.К., 90, 103, 107, 135
Кириллов А.К., 59
Киров Б., 22, 61
Кирпичев Р.Н., 13
Кислов Р.А., 39, 62
Кичатинов Л. Л., 63
Клиорин Н., 64
Князева И.С., 81, 82
Кобяков Д., 66, 67
Комитов Б.П., 68
Константинов А.Н., 18
Копылова Ю.Г., 132
Корягин С.А., 69
Костюченко И.Г., 70
Котов В.А., 71
Крайнев М.Б., 55, 72, 73
Кропотина Ю.А., 74
Кудрявцев И.В., 18, 75
Кузаян К.М., 64
Кузнецов А.А., 46
Кузнецов В.Д., 62
Кузнецов С.А., 11
Куприянова Е.Г., 116
Купряков Ю.А., 76
Курочкин Е.А., 81
Куценко А.С., 77, 79, 102
Лаврухин А.С., 78
Лебедев А.А., 108
Лебедев М.К., 16, 57
Литвишко Д.В., 79
Лопин И.П., 80
Лопухин В.И., 77
Лысов И.И., 81
Макаренко Н.Г., 21, 82
Малащук В.М., 8
Малова Х.В., 39
Малютин В.А., 76
Маурчев Е.А., 36, 83
Мелихова Е.С., 18
Мелкумян А.А., 5
Мельников В.Ф., 11, 84, 127
Мерзляков В.Л., 85–87
Мешалкина Н.С., 84
Миллер Н.О., 42
Мирошниченко Л.И., 118
Михайлов В.В., 73
Михаляев Б.Б., 35, 141
Можаровский С.Г., 88
Молевич Н.Е., 44
Моргачев А.С., 111
Моторина Г.Г., 89, 111
Муратова Н.О., 90
Мягкова И.Н., 107
Нагнибеда В.Г., 124
Наговицын Ю.А., 75, 91–93, 100
Накаряков В.М., 94
Обридко В.Н., 58, 95, 105, 143
Овчинникова Е.П., 134
Овчинникова Н.Е., 16, 57
Огурцов М.Г., 96
Ожередов В.А., 97, 98
Олифинов В.Г., 125
Опейкина Л.В., 99
Осипова А.А., 92, 100
Остряков В.М., 18
Павлов А.К., 18
Певцов Александр А., 101
Певцов Алексей А., 101
Петерова Н.Г., 99, 124, 125
Петрукович А.А., 74
Пить Н.В., 17
Плотников А.А., 8, 77, 102
Полухина С.А., 103
Попов В.Ю., 39
Протопопов Г.А., 104
Птицына Н.Г., 31, 32
Рагульская М.В., 105

Рахимов И.А., 124, 125
 Рахманова Л.С., 131
 Репин А.Ю., 104
 Рипак А.М., 16
 Рогачевский И., 64
 Рожкова Д.В., 107
 Романов В.А., 108
 Романов Д.В., 108
 Романов К.В., 108
 Рыспаева Е.Б., 130
 Рязанцева М.О., 131
 Рящиков Д.С., 44, 109
 Савина О.Н., 14
 Садовский А.М., 117
 Сапешко В.И., 13
 Сапралиев М.Е., 35, 141
 Сафиуллин Н.Т., 64
 Свиржевская А.К., 73
 Свиржевский Н.С., 73
 Семенов Д.Г., 77
 Симонова Т.В., 46, 110
 Скирута В.Н., 77
 Склярова Е.М., 133
 Скопцова Е.В., 109
 Скорбеж Н.Н., 13
 Смирнова В.В., 111
 Соколов Д.Д., 58, 95, 112
 Соловьев А.А., 42, 113, 114
 Старкова Л.И., 85, 87, 115
 Степанов А.В., 116
 Степанов Е.А., 108
 Стороженко А.А., 16
 Струминский А.Б., 27, 97, 98, 117
 Сулейманова Р.А., 118
 Теребиж В.Ю., 77
 Титова М.А., 119
 Тлатов А.Г., 13, 49, 121–123
 Тлатова К.А., 101, 123
 Топчило Н.А., 99, 124, 125
 Тясто М.И., 20, 31
 Файнштейн В.Г., 45
 Филатов Л.В., 127
 Флейшман Г.Д., 89
 Фролов Д.М., 126
 Фролова А.С., 44, 128
 Фурсяк Ю.А., 129
 Фёдоров В.М., 126
 Хабарова О.В., 39
 Хвостов Е.Ю., 125
 Холтыгин А.Ф., 130
 Хохлачев А.А., 131
 Цап Ю.Т., 10, 111, 132
 Цургаев А.В., 104
 Чариков Ю.Е., 133, 134, 148
 Чернышева М.П., 136
 Чубунов П.А., 104
 Чугунова О.М., 74
 Шабалин А.Н., 133, 134, 148
 Шамсутдинова Ю.Н., 135
 Шаповалов С.Н., 136
 Шапошников В.Е., 46, 110
 Шаховская А.Н., 27, 137
 Шибает А.И., 138, 139
 Шибает И.Г., 139
 Шибалова А.С., 95
 Шивидов Н.К., 35, 141
 Широков Е.А., 142
 Шлык Н.С., 5, 143
 Шляпников А.А., 144, 145, 147
 Шохин Т.Д., 148
 Шрамко А.Д., 13
 Шувалова В.И., 133
 Якунина Г.В., 149
 Nita G., 89
 Yu S., 89