

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ГЛАВНАЯ (ПУЛКОВСКАЯ) АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ

**СОЛНЕЧНАЯ
И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНАЯ ФИЗИКА — 2024**

***XXVIII ВСЕРОССИЙСКАЯ ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ФИЗИКЕ СОЛНЦА***

7 – 11 октября 2024 года

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

Версия от 20 сентября 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на XXVIII Всероссийскую ежегодную конференцию по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика — 2024» (7 – 11 октября 2024 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. Тлатов (*ГАС ГАО РАН, зам. председателя*), В.И. Абраменко (*КРАО РАН*), В.М. Богод (*САО РАН*), К. Георгиева (*ИКСИ-БАН, Болгария*), В.А. Держачев (*ФТИ РАН*), Н.Р. Ихсанов (*ГАО 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, ИЗМИРАН*), Ю.Т. Цап (*КРАО РАН*).

**I. Цикл солнечной активности:
наблюдательный и теоретический аспекты**

Взаимосвязь между фотосферой и короной

Абраменко В.И.

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

Очень тонкая, филигранная фотосфера — поверхность Солнца. На ней иногда видны

темные пятна, медленно меняющиеся, живущие до нескольких недель.

А выше —

огромная, протяженная и очень быстро меняющаяся корона и ее нижний слой —

хромосфера. Разные масштабы, разные скорости, разные физические условия. И тем

не менее все это составляет единую систему. Спрашивается, как осуществляются

связи в такой системе, как передается информация от одной части к другой? А

передачи и снизу вверх, и сверху вниз, неизбежны, мы наблюдаем их отголоски.

Самый простой вопрос: есть ли хоть какой-то отклик фотосферы на вспышку? До или

хотя бы после вспышки? Статистические исследования множества активных областей

(АО) со вспышками показывают, что в целом вспышечная продуктивность АО

коррелирует с параметрами степени сложности магнитного поля в фотосфере: более

сложные и крупные АО имеют более высокую вспышечную активность. Но, к сожалению,

статистические исследования на вопрос о механизмах связи не отвечают. Приходится

прибегнуть к изучению отдельных АО и временных вариаций их параметров сложности

в фотосфере и в короне. Но оказалось, что ни до, ни после мощной вспышки,

никаких изменений взрывного характера в параметрах турбулентности и

мультифрактальности в магнитном поле фотосферы не наблюдается: плавные вариации

этих параметров отражают просто локальные перестройки поля в АО. Получается, что

фотосфера выходит на некий турбулентный уровень, обеспечивающий ее будущую

вспышечную производительность, и далее ведет себя как slow driving mechanism,

независимо от критического состояния короны, а передача информации между ними может происходить на очень малых масштабах механизмом, подобным нейронной связи между мозгом и рецепторами.

Измерения максимальных напряженностей сильных магнитных полей солнечных пятен по данным MWO, КрАО и Hinode

Ахтемов З.С., Цап Ю.Т., Шапошников В.Д.,
Плотников А.А.

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

Проанализировано 4135 измерений максимальных магнитных полей B одних и тех же солнечных пятен, полученных в обсерватории Mount Wilson Observatory (MWO, США) и Крымской астрофизической обсерватории (КрАО РАН) за период с 2009 по 2019 гг. Показано, что для напряженности полей по данным MWO с $B_{\text{MWO}} \geq 1500$ Гс коэффициент корреляции Пирсона $ss \approx 0.60$. Для выбранных 142 пятен с $B_{\text{MWO}} \geq 2500$ Гс $ss \approx 0.28$. При этом разность модуля измеренных значений полей по данным КрАО и MWO $|B_{\text{MWO}} - B_{\text{CrAO}}|$ варьировалась в диапазоне от 0 до 2000 Гс. Сравнение данных наземных обсерваторий с магнитограммами, полученными на японском спутнике Hinode показало, что крымские оценки магнитных полей пятен лучше согласуются с результатами, полученными на Hinode. Коэффициенты корреляции ss между значениями B_{CrAO} и B_{Hinode} , а также B_{MWO} и B_{Hinode} для 73 измерений, оказались соответственно равными 0.62 и 0.47. Построены диаграммы рассеяния, а также гистограммы для модуля разности измеренных магнитных полей. Обсуждаются возможные причины полученных расхождений. Обращено особое внимание на зависимость измеряемых магнитных полей от пространственного разрешения используемых инструментов и качества изображений пятен.

Работа выполнена при частичной поддержке ГЗ, проект № 122022400224-7.

Переполюсовка в 25-м цикле активности по данным измерений магнитных полей Солнца и наблюдений в линии H_{α}

Березин И.А., Тлатов А.Г.

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

Рассмотрены итоги 10-летних наблюдений магнитных полей Солнца на магнитографе СТОП на Кисловодской Горной астрономической станции. Выполнен анализ распределения крупномасштабных магнитных полей. Изучена смена знака магнитных полей по данным различных магнитографов. Также проведено сравнение движений линий смены знака крупномасштабных магнитных полей с положением солнечных волокон и протуберанцев, наблюдаемых в линии H_{α} . Обнаружено, что волокна и протуберанцы образуются, в основном, на границах секторных и зональных структур крупномасштабного магнитного поля. В течение цикла солнечной активности линии раздела секторных структур многократно достигают полярных областей, что подтверждается и магнитографическими наблюдениями, и измерениями в линии H_{α} .

Выполнено моделирование процесса переполюсовки магнитного поля в рамках модели переноса поверхностного магнитного потока (SFT). Показано, что процесс переполюсовки хорошо описывается SFT моделью при использовании в качестве источников магнитных полей активных областей.

Система обработки, хранения и доступа к мульти-инструментальным данным солнечной активности

Березин И.А., Тлатов А.Г., Шрамко А.Д.,
Дормидонтов Д.В.

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

Данные Горной Астрономической Станции (ГАС) ГАО РАН представляют собой изображения солнечной фотосферы, хромосферы, короны. Помимо измерений в ядре спектральных линий, ведутся синоптические измерения полных профилей спектральных линий на диске Солнца: H_{α} , Ca II K и Fe I (630 нм). Также в непрерывном режиме ведутся радионаблюдения на длинах волн 3.2 и 4.9 см. Мы представляем комплексную автоматизированную систему обработки данных, включающей распознавание объектов на изображениях Солнца, формирование карт магнитных полей на фотосфере и параметров хромосферы, сборку видеороликов по данным наблюдений для быстрого просмотра, создание синоптических карт магнитного поля, вычисление индексов солнечной активности.

Основным инфраструктурным компонентом представленной системы является сервер ГАС, обеспечивающий хранение и обработку данных практически в режиме реального времени. На сервере ГАС организован открытый доступ по сети Интернет к данным разного уровня: от спектральных и спектрополяриметрических до данных высокого уровня, таких как карты магнитного поля и контуры объектов, сегментированных на изображениях Солнца.

Особенности топологии солнечных магнитных полей в 21-25 циклах

Биленко И.А.

ГАИШ МГУ, Москва

Солнечные магнитные поля играют ключевую роль во всех процессах как на Солнце, так и в гелиосфере. Наблюдаемые на фотосфере магнитные поля представляют собой комбинацию динамически изменяющихся и сложным образом взаимодействующих полей различных временных и пространственных масштабов. Циклические вариации разномасштабных магнитных полей значительно отличаются в разных циклах.

На основе данных полученных на наземных обсерваториях Kitt Peak и WSO и космических аппаратах SOHO и SDO рассмотрены циклические вариации топологических изменений солнечных магнитных полей различной напряженности и пространственно-временных масштабов в 21-25 циклах солнечной активности. Выявлена зависимость формирования крупномасштабных структур магнитного поля от широты и долготы. Сопоставлены широтно-долготные характеристики структур и их пространственно-временная динамика в разных циклах, а также дисбалансы магнитных полей положительной и отрицательной полярности как в целом по диску Солнца, так и в отдельных магнитных структурах.

Детально анализируются переходы от зональной структуры широтного распределения глобального магнитного поля к секторной на фазах роста 21-25 циклов, характеризующихся формированием чередующихся униполярных долготных структур крупномасштабных магнитных полей, и обратные переходы от секторной структуры к зональной на фазах спада 21-24 циклов. Показаны сходства и различия этих переходных периодов в разных циклах.

Новые горизонты радиоспектроскопии солнечной короны

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

СПбФ САО РАН, Санкт-Петербург, e-mail: vbog_spb@mail.ru

Радиоизлучение солнечной короны в дециметровом диапазоне длин волн занимает относительно широкую часть по высотной структуре солнечной короны, которую трудно исследовать ввиду ее высокой температуры и низкой плотности. С другой стороны, спутниковые данные и данные наземных инструментов эффективно работают в EUV и X-ray и оптическом диапазоне, что повлияло на развитие наших знаний о структурах на уровнях фотосферы, хромосферы и нижней короны. Здесь эффективно работают крупные радиогелиографы, которые предназначены для изучения природы и прогноза вспышечной активности.

Однако для решения ряда принципиальных проблем, связанных с физикой солнечной короны, требуются радиотелескопы с набором важных предельных параметров, такие как предельная высокая чувствительность по потоку излучения, предельно высокие частотное и временное разрешение, большой динамический диапазон и др., при высоком или умеренном пространственном разрешении. Сюда можно отнести поиск линий в короне, практические данные подтверждающие теории нагрева короны, прогресс в исследованиях высотных свойств короны: температуры, плотности, магнитного поля и др.

Излучение линий является уникальным инструментом для понимания физической природы объектов. На Солнце эти исследования ведутся на уровнях фотосферы и хромосферы, тогда как на уровне короны такие возможности отсутствуют из-за высокой температуры короны ($\sim 10^6$ K). Благодаря новому спектрально-поляризационному комплексу на РАТАН-600 стали возможны наблюдения тонких корональных структур в диапазоне 1-3 ГГц.

В докладе рассматриваются основные проблемы изучения солнечной короны на основе методов современной солнечной астрономии. Демонстрируются новые результаты, полученные на основе приемной аппаратуры нового типа и рассматриваются пути развития радиоспектроскопии высокого разрешения при исследовании короны Солнца.

Дисбаланс положительных и отрицательных фотосферных магнитных полей для различной напряженности поля

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

В работе исследуется проблема дисбаланса магнитных полей по данным синоптических карт фотосферного магнитного поля за период 1978–2016 гг. (NSO Kitt Peak). Были рассмотрены также данные обсерваторий Wilcox Solar Observatory (1978–2022) и Mount Wilson Observatory (1978–2012). Для выделения вклада слабых магнитных полей порог насыщения для синоптических карт был установлен на уровне 5 Гс. На основе преобразованных синоптических карт была построена диаграмма широта-время. Ранее были обнаружены потоки магнитного поля (ripples), чередующейся полярности, дрейфующие от экватора к полюсам до широт $\sim 50^\circ$. Каждый знак ripples имеет протяженность около 1 года. Интервал времени, занятый потоками ripples, расположен между двумя соседними потоками Rush-to-the-Poles.

В данной работе рассмотрен вопрос о связи ripples северного и южного полушарий. В ряде случаев потоки слабых магнитных полей в северном полушарии, дрейфующие по направлению от экватора к северному полюсу зеркально отражаются в виде потоков магнитного поля южного полушария. Знаки магнитного поля для потоков двух полушарий в этом случае совпадают. Продолжения ripples определенного знака из одного полушария в другое свидетельствуют о наличии структуры магнитного поля, охватывающей оба полушария Солнца. С другой стороны, при рассмотрении 22-летних циклических изменений в дисбалансе положительных и отрицательных магнитных полей было обнаружено резкое отличие северного и южного полушарий, причем это отличие полушарий характерно как для слабых, так и для сильных полей.

К вопросу модуляции потока галактических космических лучей солнечной активностью

Григорьева И.Ю.¹, Ожередов В.А.², Струминский А.Б.²

¹ Главная астрономическая обсерватория, С.-Петербург,
e-mail: irina.2014.irina@mail.ru

² Институт космических исследований, Москва

В ходе экспериментов по регистрации галактических космических лучей (ГКЛ) с конца 1940-х годов (на постоянной основе с 1957 года) прослеживается их зависимость от солнечной активности. Наблюдается так называемая модуляция – изменение потока ГКЛ в зависимости от фазы и кратности цикла. Трассером последнего служит магнитное поле Солнца, в качестве которого можно использовать полярное магнитное поле (Vpol, данные WSO). Для исследования связи модуляции ГКЛ и магнитного поля используют их временные ряды за весь период наблюдения. Но, учитывая гладкость обеих кривых, совпадающих во времени измерений на текущий 2024-ый год статистически мало – всего пять циклов. Проблему отсутствия статистически значимого количества ключевых моментов наблюдений – «переполосовки» (минимального вклада Vpol в модуляцию ГКЛ) мы решаем методом многократной генерации выборки.

Используется алгоритм bootstrap, генерирующий ансамбль из большого числа кривых Vpol, таких, что их автоковариационные свойства совпадают с нативной кривой, а моменты переполосовки отличаются по времени от моментов переполосовки у нативной кривой. Поскольку зависимость между модуляцией ГКЛ и Vpol очевидно нестационарна, в качестве меры статистической связи мы используем взвешенный коэффициент корреляции с весами, функционально зависящими от чётности и фазы цикла (то есть от разности между моментом максимума потока ГКЛ и моментом следующей переполосовки). Мы показали, что сила статистической связи сгенерированных кривых Vpol с модуляцией ГКЛ достоверно падает по мере того, как моменты переполосовок в среднем удаляются от своих исходных значений.

Вращение солнечной короны на основе посуточных данных радио индекса солнечной активности на протяжении 19-24 солнечных циклов

Дмитриев П.Б.

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

На основе регулярных измерений радиоизлучения Солнца с 1947 года по настоящее время, был введен радио 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. Следовательно 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.

Поэтому в настоящей работе посуточные значения солнечного радио индекса (<http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/flux10.7/daily/>) используются для изучения характера вращения солнечной короны при помощи метода построения комбинированной спектральной периодограммы. Суть применяемого метода заключается в выявлении квазипериодических компонентов в исходных данных и изучении изменения их значений в зависимости от времени. Первоначально рассматриваемый метод был опробован на значениях чисел Вольфа, что доказало возможность его применения к аналогичным задачам. Затем метод был применен к значениям радио индекса солнечной активности на протяжении последних шести циклов: с 19 по 24 цикл. На основе построенных диаграмм изменения значений выявленных квазипериодов во временной структуре радио индекса солнечной активности был сделан вывод, что корона на различных этапах солнечных циклов может проявлять свойства как дифференциального, так и «твердотельного» вращения.

Исследование удельных магнитных потоков активных областей разных магнито-морфологических классов

Жукова А.В., Абраменко В.И.

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

Для исследования суммарных удельных (приходящихся на один носитель) магнитных потоков активных областей (АО) были использованы данные каталога магнито-морфологических классов (ММК) АО КрАО (<https://sun.crao.ru/databases/catalog-mmс-ars>). 3047 АО, появившихся на диске с мая 1996 г. по декабрь 2020г., были распределены между подмножествами регулярных биполярных АО (классы A1 и A2), нерегулярных биполярных АО (класс B1), нерегулярных многополярных АО (классы B2 и B3), одиночных пятен (класс U) [1, 2]. Показано, что потоки совокупности всех АО класса А слабо изменяются с циклом и образуют подобие плато, захватывающее фазы подъема и спада цикла. Потоки АО сложной конфигурации (совокупность В) превышают потоки совокупности А. Наибольшие значения потоков совокупности В (в 2-4 раза выше потоков А) наблюдаются в максимуме цикла, что может быть связано с проявлением турбулентности конвективной зоны. Наименьшие потоки наблюдаются у простых биполей (A1) и одиночных пятен (U). Признаки многопиковой структуры цикла присутствуют в профилях АО всех ММК классов и наиболее выражены у АО самой сложной конфигурации (B2, B3). Множественность пиков может быть связана с квазидвухлетней периодичностью солнечной активности, которая проявляет себя также и в данных для АО классов А и В в разных (относительно экватора) полушариях [4].

- [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] Abramenko V.I., Suleymanova R.A., Zhukova A.V. // MNRAS, 2022, v. 518, p. 4746.
- [4] Zhukova A.V., Sokoloff D.D., Abramenko V.I., Khlystova A.I. // Adv. Space Res., 2023, v. 7, p. 1984.

Долгоживущие группы пятен семнадцатого столетия

Золотова Н.В.¹, Вохмянин 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 своей книге [1] указывают на то, что активные области в период минимума Маундера были не только редким явлением, но и были заметно более долгоживущими по сравнению с группами пятен в современную эпоху: большинство солнечных пятен, появившихся в период с 1660 по 1700 г., пересекали весь диск Солнца, и около 10% из них совершали три или четыре оборота. Сегодня менее 1% солнечных пятен живут так долго. Хойт и Шаттен предположили, что долгоживущие пятна являются косвенным свидетельством ослабленной конвекции.

Мы выполнили анализ нескольких случаев предположительно долгоживущих групп пятен в период 1660–1676 гг. Восстановили широты и долготы пятен, проанализировали скорость их движения по диску Солнца. Замедление скорости дифференциального вращения в период минимума Маундера не обнаружено. Также в работе рассматривается ретроспектива определения солнечного пятна.

- [1] Hoyt D.V., Schatten K.H. // The role of the sun in climate change, Oxford University Press, 1999, p. 279.

«Игрушечные» модели 11-летней солнечной цикличности и правило Гневывшева-Оля

Иванов В.Г.

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

В докладе рассматриваются способы построения простых моделей 11-летнего цикла, воспроизводящие известные эмпирические связи между циклами, в частности — «правило Черноского», т.е. антикорреляцию между длиной данного цикла и амплитудой последующего [1], и другие обусловленные им правила [2]. Обсуждаются требования к подобным моделям, которые нужны для воспроизведения самого интригующего свойства правила Гневывшева-Оля [3]: различие в силе связи между мощностями в чётно-нечётных и нечётно-чётных парах соседних циклов.

- [1] Chernosky E.J. // Publ. Astron. Soc. Pac., 1954, v. 392, pp. 241–247.
- [2] Ivanov V.G., Nagovitsyn Yu.A. // Geomagnetism and Aeronomy, 2023, Vol. 63, No. 7, pp. 920–924.
- [3] Гневывшев М.Н., Оль, А.И. // Астрон. жур., 1948, т. 25, сс. 18–20.

Новые направления в физике Солнца, связанные с машинным обучением

Илларионов Е.А.

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

Активное вовлечение методов машинного обучения в исследования по физике Солнца дало развитие ряду новых направлений, имеющих значимость в существенно более широком контексте. Так, за последнее время появилось множество новых баз данных, специально подготовленных для задач машинного обучения, однако полезных и для других задач статистического исследования. В частности, это позволяет перенести усилия с трудоемкого процесса сбора данных на их непосредственный анализ. В открытом доступе появились новые библиотеки программ, позволяющих гибким образом строить процедуры обработки данных, что, в свою очередь, также упрощает и ускоряет процесс исследования. Одновременно, при использовании единых библиотек кода процесс исследования становится более прозрачным и воспроизводимым независимым образом. Методы машинного обучения повлияли и на характер исследований, ставший все более междисциплинарным – на стыке физики, современных вычислительных технологий и моделей обработки данных, в том числе, пришедших из других прикладных областей. Появилась возможность исследовать задачи, которые ранее оставались плохо формализованными. В докладе будет представлен обзор результатов по новым направлениям.

Текущий момент развития 25 цикла солнечной активности: фаза максимума

Ишков В.Н.

ИЗМИРАН, Москва

Эпоха пониженной солнечной активности (СА), 2-м циклом которой является текущий 25, развивается согласно наблюдательным правилам и закономерностям сценария солнечной цикличности. Этот сценарий в эпоху пониженной СА требует чередования солнечных циклов малой и средней величины и совершенно исключает возможность появления высоких СЦ до конца 80-х годов 21 века, когда после переходного СЦ29 СА вступит в 3-ю эпоху повышенной СА. После прошедшего низкого по высоте солнечного цикла (СЦ) 24, текущий цикл, начавшийся в январе 2020 г., как и ожидалось вошёл в семейство СЦ средней величины. Темп его развития на октябрь 2024 г. (58 месяцев развития) соответствует ходу развития СЦ средней величины и находится в районе максимума развития, который ожидается в июне – августе 2024 г. со значением $W^* \sim 095$ (~ 143 в системе $v2$). Самое значительное событие фазы максимума для всех СЦ является процесс переполосовки общего магнитного поля Солнца, который включает в себя последовательную смену знака поля на полюсах Солнца и в текущем СЦ начался в июле 2023 г. с северного полушария и пока продолжается. Ветвь спада обещает быть затянутой и минимум текущего цикла следует ожидать в первой половине 2031. Следует напомнить, что продолжительность второго СЦ13 первой достоверной эпохи пониженной СА, тоже средней величины, была самой большой (12.1 г.) внутри эпох СА и уступала только переходному СЦ23 (12.7 г.). На август 2024 г. на видимом диске Солнца наблюдалось не менее 1045 групп пятен, из которых 45 групп пятен имели площадь ≥ 500 , 10 – ≥ 1000 и 1 больше 2000 мдп. За весь 25 цикл Солнце осуществились 60 вспышек рентгеновского класса X (X8.7), 53 – больших класса $M>5$ и 1214 среднего класса M1 – M4.9 и не менее 200 выбросов солнечных волокон. За прошедший год таких вспышечных событий произошло 38; 54; 530 соответственно. Протонных событий класса S3 – 1; S2 – 12 (10 – 2024). и значимых магнитных бурь классов G5 – 1; G4 – 3; G3 – 2: Dst > 100 – 10, причём одна из них 10 – 11 мая была экстремальной (Dst=412 nT) и по мощности вошла в десятку самых мощных магнитных бурь за всю историю достоверных и восстановленных геомагнитных данных. Полярные сияния от этой бури наблюдались на широтах $<26^\circ$. Текущий СЦ уникален своими наблюдательными возможностями, предоставляемыми космическими проектами, запущенными во внутреннюю гелиосферу (Solar Orbiter, Parker Solar Probe, BepiColombo), впервые предоставляя отличные возможности для изучения различных активных, в том числе и геоэффективных, явлений на Солнце с помощью нескольких космических аппаратов в сочетании с высокой частотой солнечных, гелиосферных и наземных наблюдений в различных диапазонах электромагнитных и корпускулярных излучений. Значимо повысились возможности наблюдений за вспышечными события-

ми с высоким качеством и разрешением с разных точек зрения, включая наземные радиосредства, чем это было возможно до сих пор.

Вспышечная активность фазы максимума текущего 25 цикла солнечной активности

Ишков В.Н., Лебедев Н.И., Лебедев М.Н.

ИЗМИРАН, Москва

Текущий солнечный цикл (СЦ) развивается как средний по величине согласно сценарию солнечной цикличности. Данный сценарий включает в себя эпохи повышенной и пониженной солнечной активности (СА), разделённые переходными периодами, когда значимо меняется характер и величина пятнообразовательной деятельности, следуя изменениям фоновых значений общего магнитного поля Солнца. Основной особенностью фазы максимума текущего СЦ стал беспрецедентный количества больших солнечных вспышек. Характер и особенности вспышечной активности текущего СЦ 25 сравниваются с аналогичным средним СЦ13 первой эпохи пониженной СА в соответствующих фазах максимума. Обращено особое внимание на значимое увеличение количества больших высокопродуктивных групп пятен в 2024 г. для СЦ25 и 1892-93 г. для СЦ13. Уровень вспышечной активности для СЦ13 косвенно оценивался по количеству возмущений геомагнитного поля в виде «кроше», внезапных импульсов (SI) и внезапных начал (SC) геомагнитных бурь, которые напрямую связаны со спорадическими вспышечными событиями. Для фазы максимума текущего СЦ особое внимание обращено на значительное увеличение количества симпатических (одновременных) вспышечных событий средних и высоких рентгеновских классов ($>M1$). Интервал времени осуществления таких вспышечных событий был такой короткий, что не представлял возможности фотометрам GOES разделить их рентгеновские классы. Поэтому регистрировался их суммарный класс по интенсивности наибольшей вспышки. В связи с последними, пересмотрены некоторые наблюдательные вопросы последних работ по рентгеновским симпатическим всплескам, и сделан вывод о том, что нужно говорить не об отдельных симпатических событиях в разных диапазонах наблюдений, а о связанных между собой активных областях, в которых происходят такие события. обсуждаются вопросы физической возможности таких магнитных связей на корональном уровне и уровне образования крупномасштабных униполярных магнитных структур.

Долгопериодические колебания магнитного поля солнечных пятен по данным SDO

Королькова О.А.¹, Живанович И.², Соловьев А.А.¹

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

² Белградская астрономическая обсерватория, Белград, Сербия

Изучение долгопериодических колебаний солнечных образований, таких как пятна, хромосферные волокна и корональные петли, — относительно молодое, но активно развивающееся направление исследований современной солнечной физики [1, 2]. Наблюдения Солнца при помощи космической обсерватории Solar Dynamics Observatory (SDO) позволяют обнаружить колебания физических параметров элементов солнечной активности с периодами от нескольких десятков минут до нескольких десятков часов.

Низкочастотные колебания принципиально отличаются от более высокочастотных, с периодами 3-5-10 минут, которые уже давно наблюдаются, например, в солнечных пятнах. В случае долгопериодических колебаний мы наблюдаем смещение вдоль того или иного направления всего физического тела пятна как целого. В такие колебания вовлекаются значительные массы вещества.

Для выявления периодов колебаний магнитного поля мы провели отбор солнечных пятен по данным SDO и применили метод быстрого Фурье-анализа (FFT) — одного из преобразований Фурье, широко используемого при анализе временных рядов. FFT позволяет выявить наиболее значимые частоты в дискретном сигнале. Полученные значения периодов колебаний отобранных солнечных пятен хорошо согласуются с теоретическими оценками, полученными в работе [3].

- [1] Kumar P.; Nakariakov V. M.; Cho Kyung-Suk // *Astrophys. J.*, 2015, v. 804, iss. 1, id.4, 11 pp.
- [2] Smirnova V.V., Efremov V.I., Parfinenko L.D. et. al. // *A&A*, 2013, v. 554, id.A121, 7 pp.
- [3] Solov'ev A.A., Kirichek E.A. // *Astrophys. Space Sci.*, 2014, v. 352, iss. 1, pp. 23-42.

Эффект Гневывшева в суммарной по диску площади групп пятен разных размеров

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

Уменьшение активности в фазе максимума 11-летнего цикла солнечной активности (СА) было впервые отмечено М.Н.Гневывшевым в 1967 г. в вариациях яркости излучения солнечной короны и впоследствии получило название провал Гневывшева (Gnevyshev gap, GG). Многочисленные исследования показали, что это явление наиболее ярко проявляется в корональных индексах СА, в индексах межпланетной среды, в крупномасштабном магнитном поле Солнца, но менее заметно в индексе солнечных пятен. Однако, рядом исследователей было отмечено, что GG более выражен в мощных проявлениях СА. Поэтому интересно, как это явление проявляется в вариациях площади групп солнечных пятен разных размеров, в том числе, наиболее крупных.

В работе исследуются вариации суммарной по солнечному диску площади всех наблюдавшихся в фазе максимума 11-летних циклов СА групп пятен, начиная с цикла 12, и, отдельно, групп пятен, достигавших за время их наблюдения площади 500МДП и 1000МДП. Кроме того, эти вариации исследуются в каждом из широтных полушарий, проводится их сравнение. Рассматривается связь между интенсивностью GG в каждой из указанных категорий групп пятен и высотой цикла, а также вклад в GG каждой категории.

Оказалось, что наиболее заметно GG проявляется в случае крупных пятен, причем они вносят существенный вклад в GG суммарной площади всех групп пятен. Однако, проявление этого эффекта различается по форме и по интенсивности в северном и южном широтных полушариях и в разных циклах.

О влиянии на гелиосферу и интенсивность ГКЛ в ней двух ветвей солнечной активности

Крайнев М.Б., Калинин М.С.

Физический институт РАН, Москва, Россия

В развитии солнечной активности можно выделить две ветви, развивающиеся в противофазе и называемые, по конфигурации магнитных полей в них, тороидальной и полоидальной. В качестве наблюдаемых индексов этих ветвей можно использовать: для тороидальной ветви — площадь солнечных пятен S_{ss} , а для полоидальной — величину компоненты вдоль луча зрения с Земли высокоширотного фотосферного магнитного поля B_{ls}^{pol} . В характеристиках последнего и наиболее протяжённого слоя солнечной атмосферы, гелиосферы, также можно ожидать влияния обеих ветвей солнечной активности.

В докладе будет продемонстрировано, что в периоды пяти последних минимумов пятенной активности (минимумы 20/21 – 24/25) большинство характеристик гелиосферы, важных для распространения ГКЛ, а также сама интенсивность ГКЛ коррелируют с полоидальной ветвью активности, а в периоды пяти последних максимумов — с тороидальной ветвью.

**Текущее кратко- и среднесрочное прогнозирование
солнечной активности с помощью модели динамо
с магнитной спиральностью и управляемой ею
нейронной сети**

***Клиорин Н.^{1,2}, Кузанын К.М.^{1,3}, Обриджо В.Н.^{1,3},
Сафиуллин Н.Т.⁴, Поршнев С.В.⁴, Степанов Р.А.²***

¹*Институт Механики Сплошных Сред УрО РАН, г. Пермь*

²*Ben Gurion University, Beer-Sheva, Israel, e-mail: nat@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*

Мы представляем результаты текущего прогнозирования солнечной активности в краткосрочной шкале времени, применяя метод, основанный на сочетании нелинейной модели динамо среднего поля с магнитной спиральностью и искусственной нейронной НАРХ сети. Искусственная нейронная сеть, которая служит схемой коррекции для прогноза, использует имеющиеся в настоящее время данные наблюдений (а именно 13-месячное скользящее среднее число солнечных пятен) и выходные данные модели динамо, которая воспроизводит долговременную хаотическую динамику солнечной активности и учитывает пороговый характер образования солнечных пятен. Нелинейная модель динамо среднего поля включает в том числе и динамические нелинейности, связанные с динамикой магнитной спиральности мелкомасштабного магнитного поля). Мы сравниваем ошибки прогноза с горизонтом 1, 6, 12 и 18 месяцев для разных методов прогнозирования, которые используют одни и те же поправки каждый месяц на основе текущих наблюдений, начиная с 2018 г.. Сравнение нашего прогноза с наблюдаемой солнечной активностью на длительном интервале времени демонстрирует хорошее согласие, а ошибка прогноза почти стабильно мала в коротких и длинных диапазонах окон прогнозирования.

Мы хотели бы подчеркнуть, что данный метод демонстрирует, что несмотря на высокую степень хаотичности солнечной активности, она может быть прогнозируема на кратко- и среднесрочных горизонтах достаточно надежно. В последние несколько месяцев 2024 г. несмотря на значительный рост помесечного числа пятен в моменте, наш прогноз демонстрирует достаточную консервативности по значениям 13-месячного скользящего среднего числа солнечных пятен. Это возможно означает, что в ближайшие месяцы солнечная активность может снизиться и в смысле помесечного числа пятен.

Работа поддержана грантом РФФИ 21-72-20067.

**Анализ динамики
развития вспышки SOL2013-05-17**

**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 им. М.В.
Ломоносова, Москва, Россия*

Вспышка SOL2013-05-17 наблюдалась нами в Астрономическом институте Чешской Академии Наук на HSFA-2 — горизонтальной установке для исследования Солнца. Нами были получены спектры в линиях CaII H, H ϵ , H β , D3, H α и CaIR 8542 Å. После обработки спектров были определены интегральные потоки излучения в линиях водорода, гелия и кальция для 6 эпизодов времени. Рассмотренная вспышка имела два характерных ядра, и в процессе обработки были определены потоки от каждого из них.

В рамках модели нагретого газа выполнен теоретический расчет параметров плазмы с учётом физических условий в хромосфере, включая самопоглощение в спектральных линиях. В результате вычислений удалось достигнуть полного соответствия наблюдаемых и теоретических потоков. Сопоставление сразу по шести линиям водорода и ионизованного кальция позволило с большой степенью уверенности восстановить температуру, плотность, турбулентную скорость и пространственную структуру излучающего газа. Определены физические параметры элементов солнечной вспышки и произведен анализ процессов. Для объяснения наблюдаемых потоков потребовалось рассмотреть 3 газовых слоя, ориентированных поперек луча зрения, со своими индивидуальными параметрами. Концентрация плазмы отдельного слоя варьируется в пределах $2.0 \cdot 10^{12}$ - $1.0 \cdot 10^{13}$ см⁻³, высота 5000–7000 км, температура 5000–8450 К, турбулентная скорость 50 — 200 км/с.

Статистическое сопоставление параметров анти-Хейловских и остальных активных областей на Солнце

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

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

Модели глобального динамо успешно описывают многие аспекты солнечной активности, однако остаётся недостаточно изученными механизм формирования активных областей, нарушающих закон полярности Хейла (анти-Хейловских АО), которые составляют около 4% от общего числа АО. В настоящем исследовании будут представлены результаты комплексного анализа анти-Хейловских АО, включающие исследования скорости вращения анти-Хейловских АО по диску Солнца, вариации тилт-углов, распределения их площадей в процессе цикла, а также широтное распределение. В ходе работы было установлено, что скорости вращения анти-Хейловских и остальных АО статистически неразличимы, а следовательно, предполагая, что скорость вращения АО может зависеть от глубины генерации их магнитных жгутов, можно сделать вывод о том, что нет различий в глубинах формирования анти-Хейловских и остальных АО. Анализ тилт-угла анти-Хейловских АО показал, что тилт-угол этих АО сохраняется в течении всей жизни, а значит, они были сформированы с той ориентацией, с которой появились на поверхности. Также результаты показали аналогичное широтное распределение анти-Хейловских и остальных АО. Кроме того, наблюдается умеренная положительная корреляция суммарных площадей анти-Хейловских и остальных АО, что может указывать на порождение этих областей в результате работы единого глобального динамо.

Топологический анализ сети, дуальной временному ряду чисел Вольфа

Макаренко Н.Г., Рыбинцев А.С., Волобуев Д.М.

ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: ng-makar@mail.ru

Любому временному ряду можно поставить в соответствие граф, сохраняющий информацию о структуре ряда. Существует много способов получить такой граф. Примерами может служить бинарный график рекуррентности, который можно рассматривать, как матрицу сопряженности для графа и граф, вершины которого определены запаздывающими векторами Такенса. Обратная реконструкция временного ряда из графа, которая сохраняет отношение предпорядка оригинального ряда, определяет дуальное отображение ряда в граф. Мотивом такого представления является возможность использования набора метрик, более удобных для выделения динамических паттернов, нежели традиционные метрики, основанные на Фурье анализе. Такие паттерны можно выделять методами фильтрации графа, позволяющих использовать технику персистентных гомологий. В докладе, мы используем этот подход для диагностики динамических режимов модели, продуцирующей временной ряд чисел Вольфа в смысле теоремы Такенса. В качестве сравнения, используется одно из численных решений системы Реслера.

Вековые изменения свойств и численности групп солнечных пятен

Наговицын Ю.А.^{1,2}, Осипова А.А.¹, Федосеева С.Н.^{1,2}

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

² Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург, Россия

На 150-летнем временном интервале рассмотрены изменения средних свойств групп солнечных пятен, образующих две популяции: SSG – малых короткоживущих (№ 1) и LLG – крупных долгоживущих (№ 2) групп. Площади каждой из этих популяций распределены логнормально, так что вместе их распределение может быть представлено шестью параметрами: $X_{1,2}$, $W_{1,2}$, $A_{1,2}$. Здесь обозначены: X – среднее логарифмической гауссианы, W – ее удвоенное среднеквадратическое отклонение, A – суммарная численность популяции.

Показано, что все параметры имеют изменения с типичными временами 30-40 лет, однако параметры X и W , характеризующие *свойства* групп, и A , характеризующие *численность*, изменяются по-разному. Обсуждается связь полученных результатов с результатами в рамках подхода “первичных” индексов Копецкого-Кукулина.

Незатухающие колебания солнечных корональных петель как возможные предвестники мощных вспышек

Нечаева А.Б.¹, Зимовец И.В.¹, Шарыгин И.Н.¹,
Анфиногентов С.А.²

¹*Институт космических исследований Российской академии наук,
Москва, Россия, e-mail: nechayeva.workspace@gmail.com*

²*Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения
Российской академии наук, Иркутск, Россия*

Солнечная вспышка представляет из себя внезапный, быстрый и сильный магнитно-энергетический выброс, характеризующийся усилением яркости излучения в широком спектре, наблюдаемый вблизи солнечных пятен. Изучение солнечных вспышек и их предвестников — важная задача как для понимания самого процесса накопления и выделения энергии во вспышечных областях, так и для прогнозирования вспышек.

В данной работе в качестве одного из возможных предвестников вспышек мы рассматриваем незатухающие колебания солнечных корональных петель, и их связь с потоком мягкого рентгена по данным XRS/GOES и интегральным излучением активных областей в различных каналах ультрафиолета по данным AIA/SDO. В отличие от затухающих изгибных колебаний, возбуждаемых импульсными динамическими процессами, этот тип поперечных колебаний, по всей видимости, не связан с каким-либо внешним импульсным воздействием, таким как вспышка или корональный выброс, и не демонстрирует значительного затухания. Более того, амплитуда этих незатухающих колебаний обычно ниже, чем у затухающих, поэтому для их детектирования нужны дополнительные методы обработки изображений. При этом корональные петли можно рассматривать как прокси линий магнитного поля в активных областях Солнца. Таким образом, незатухающие колебания существуют вне зависимости от динамических триггеров, и изменения в характере их поведения можно рассматривать в контексте предвспышечной активности по перестройке магнитной конфигурации активной области. Мы представляем результаты предварительного анализа незатухающих колебаний петель в нескольких активных областях и их связи с вариациями потока рентгеновского излучения перед вспышками.

Структуры разных типов симметрии в цикле солнечной активности

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

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

²Институт Механики Сплошных Сред УрО РАН, г. Пермь

³Физфак МГУ, Москва

⁴Центр фундаментальной и прикладной математики, Москва

Солнечный цикл — сложное явление, для всестороннего понимания которого необходимо изучение различных трассеров. Важнейшей составляющей этого комплекса является солнечное динамо, понимаемое как самовозбуждение магнитного поля Солнца где-то в конвективной зоне Солнца в виде бегущих волн магнитного поля. В формировании солнечного цикла, наряду с солнечным динамо, участвуют и другие процессы, которые связаны с динамо, но не являются его необходимой частью. Дан обзор этих явлений, которые пока не нашли объяснения в рамках динамо. Здесь мы рассматриваем солнечный цикл, проявляющийся в гармониках солнечного крупномасштабного поверхностного магнитного поля, включая зональные, секториальные и тессеральные гармоники. Мы анализируем их вклад в магнитную энергию и выделяем фазы цикла активности с использованием гармоник различной симметрии. Универсальный магнитный сценарий солнечного цикла не зависит от номера цикла и высоты цикла солнечных пятен. В начале цикла на фотосфере зональные гармоники составляют 37-42% от общей энергии (а не 100%, как предполагается в упрощенных описаниях). Секториальные гармоники не исчезают, а составляют 5-10% от общей энергии. В этой точке наибольшая энергия (около 40%) содержится в тессеральных гармониках. По мере развития цикла относительная энергия зональных гармоник постепенно уменьшается, достигая минимума 15-18% непосредственно перед наступлением фазы максимума числа пятен. Относительная энергия секториальных гармоник увеличивается и достигает максимума (60-65%) несколько позже календарной даты максимума числа пятен. Особым отличием тессеральных гармоник является то, что изменение их относительного энергетического индекса заключено в гораздо более узком диапазоне и никогда не опускается ниже 40% даже в минимуме цикла. Это связано с активными областями и неглобальными магнитными полями. Возможно, тессеральные гармоники формируются в неглубоких подфотосферных слоях.

Работа поддержана грантом РФФИ 21-72-20067.

Две популяции групп солнечных пятен и правило Гневыхева-Вальдмайера

Наговицын Ю.А.^{1,2}, Осипова А.А.¹, Федосеева С.Н.^{3,2}

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

² Государственный университет аэрокосмического приборостроения,
С.-Петербург

На основе материалов каталога Королевской Гринвичской обсерватории было продолжено исследование двух популяций групп солнечных пятен: LLG – крупных долгоживущих и SSG – мелких короткоживущих групп. Решена задача достижения более высокой точности параметра разделения популяций ([1], [2]). Предложена процедура рандомизации времени жизни групп солнечных пятен, наблюдаемых один раз в сутки, которая позволяет при проведении статистических исследований достичь более высокого временного разрешения. Используется правило Гневыхева-Вальдмайера, которое линейно связывает логарифм площадей групп солнечных пятен $\log S$ и время жизни групп солнечных пятен LT (на ограниченных временных интервалах). Показано, что коэффициенты для популяций SSG и LLG существенно различаются. Диапазон значений параметра времени жизни группы, разделяющего популяции, был определен как $LT^* = 4.75 \pm 0.53$ дней, что согласуется с пороговыми значениями, полученными ранее для числа дней наблюдений групп солнечных пятен: $m_{SSG} < 5$ дней и $m_{LLG} > 5$ дней. Показано, что параметры билогнормального распределения площадей групп солнечных пятен, полученные из их общей группированной выборки статистическим методом Левенберга-Марквардта с предварительным разделением на логнормальные распределения по времени жизни, соответствуют друг другу. Было уточнено, что с точностью до десятой доли суток популяция SSG соответствует времени жизни группы < 4.6 дней, а популяция LLG соответствует временам жизни > 4.7 дней. Полученные результаты делают возможным изучение различных физических свойств популяций SSG и LLG независимо друг от друга с целью их сравнения и изучения их природы.

[1] Nagovitsyn Yu.A., Pevtsov A.A. // *Astrophys. J.*, 2016, v. 833, I. 1, p. 6, id. 94.

[2] Nagovitsyn Yu.A., Pevtsov A.A. // *Astrophys. J.*, 2021, v. 906, i 1, p. 7, id. 27.

Гамма-излучение спокойного Солнца: линии 0.84 и 1.2 МэВ

Остряков В.М.¹, Васильев Г.И.², Ковальцов Г.А.²

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого, Санкт-Петербург, e-mail: valery.ostryakov@mail.ioffe.ru

²ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург,
e-mail: gennadyivas@gmail.com

Рассчитана генерация различных долгоживущих изотопов при ядерных реакциях протонов, ускоренных в солнечных вспышках, с ядрами солнечной атмосферы. Получены производящие функции генерации этих радиоактивных изотопов (^{22}Na , ^{54}Mn , ^{56}Co) в зависимости от глубины. Их распад приводит к образованию гамма-линий с энергиями около 0.84 и 1.2 МэВ. Измерение интенсивности этих линий в спокойные периоды может дать сведения о среднем потоке частиц, ускоренных во вспышках на протяжении 11-летнего цикла солнечной активности.

Compact and lightweighted instruments for measuring magnetic field on the Sun

Pevtsov A.A., Bertello L., Pevtsov A.A.

National Solar Observatory, Boulder, USA, e-mail: apevtsov@nso.edu

The magnetic field plays a crucial role in shaping and driving the evolution of various solar phenomena. It acts as a "scaffolding", supporting solar atmospheric features against gravity, pressure, and other forces. Additionally, the magnetic field can trigger structural destabilization and serve as a source of energy for solar eruptions. It is also vital for modeling of solar wind, coronal mass ejections, and their effects on Earth's geomagnetic field—commonly known as space weather. There is an increasing interest in developing compact and lightweighted instruments for remote observations of solar magnetic fields from near-Earth and deep space platforms. We will review some of the recent developments in this area of solar research and provide examples from our recent work [1, 2, 3, 4].

- [1] Gopalswamy N., Christe S., Fung S.F., Gong Q., Gruesbeck J.R., Jian L.K., et al: 2024, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 254, 106165. doi:10.1016/j.jastp.2023.106165.
- [2] Hassler D.M., Gosain S., Wuelser J.-P., Harvey J., Woods T.N., Alexander J., et al: 2022, *Space Telescopes and Instrumentation 2022: Optical, Infrared, and Millimeter Wave*, 12180, 121800K. doi:10.1117/12.2630663.
- [3] Gosain S., Harvey J., Martinez Pillet V., Hill F., and Woods T.N.: 2023, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 135, 045001. doi:10.1088/1538-3873/acca49.
- [4] Pevtsov A.A., Monaghan A., Bertello L., Pevtsov A.A.: 2024, *Proc. SPIE* 13096, *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy X*, 130967V (18 July 2024); <https://doi.org/10.1117/12.3018527>

Теория солнечного динамо в меняющейся науке

Соколов Д.Д.

МГУ и ИЗМИРАН, Москва, e-mail: sokoloff.dd@gmail.com

Современная теория солнечного динамо является сформированной наукой в том смысле, что она в состоянии воспроизвести в своих моделях правдоподобную картину солнечного цикла. Однако современная наука (и жизнь) предъявляет все новые вызовы теории. В качестве примера укажем на появление реконструкции солнечной цикличности по изотопным данным за 10 тыс. лет, что позволяет обсуждать и пробовать решить новые задачи, интересные не только для физики Солнца, но и во многих иных контекстах. В предлагаемом докладе делается попытка очертить круг этих новых для нашей науки проблем.

Спектры годовых чисел Вольфа и соответствующих знакопеременных полей

Старченко С.В., Яковлева С.В.

ИЗМИРАН, Москва, e-mail: sstarchenko@mail.ru

Быстрое преобразование Фурье (БПФ) применялось к годовым числам Вольфа за последние 256 лет (весь имеющийся в свободном доступе временной ряд), 128 лет и 64 года. В результате выявлено явное доминирование гармонических спектральных мод с периодами от десяти до двенадцати лет. Следующей по значимости является мода с периодом 85 лет.

Выдвигается гипотеза о том, что величина чисел Вольфа примерно пропорциональна энергии или формально — квадрату знакопеременного магнитного поля. Получены соответствующие знакопеременные магнитные поля, которые были исследованы посредством БПФ по той же схеме, что и числа Вольфа. Получено сравнительно еще более сильное доминирование гармонических спектральных мод с периодами около 21го (плюс-минус несколько лет) года. При этом практически не значимы как спектральные моды с существенно более длинными периодами, так и с более короткими периодами.

Биполи в расширенном цикле солнечной активности и TUT-модель солнечной цикличности

Тлатов А.Г.

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

Изучены свойства расширенного цикла активности (extended solar cycle (ESC)). Для этого по наблюдениям магнитных полей SDO/HMI выделены магнитные биполи различного размера. Выполнен анализ свойств магнитных биполей. В частности подтверждено, что тилт-угол τ магнитных биполей малого размера имеет другой знак по отношению закона Джоя. Изучена зависимость длины магнитной оси биполей l от площади магнитных биполей. Показано что существует локальный минимум параметра l , соответствующий площади биполей $S \approx 5 \cdot 100 \mu\text{hm}$.

Рассмотрено распределение биполей в солнечном цикле в зависимости от магнитной полярности в законе Хэйла. Показано, что магнитные биполи полярности, соответствующей текущему 22-летнему магнитному циклу, возникают на высоких широтах за 2-4 года, до появления первых солнечных пятен. Такое распределение магнитных биполей соответствует гипотезе ESC и TUT-модели динамо солнечного цикла [1].

[1] Tlatov A.G. // Sol.Phys., 2023, v. 298, p. 147

**Формирование секторной структуры по данным
наблюдений магнитных полей
и моделирования переноса магнитного потока**

Тлатов А.Г., Березин И.А.

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

Рассмотрены итоги 10-летних наблюдений магнитных полей Солнца на магнитографе СТОП на Кисловодской Горной астрономической станции. Выполнен анализ распределения магнитных полей, в частности построены суперсиноптические карты в координатах широта-время. Для этого мы строим развертку в координатах широта-время, используя интенсивности около центрального меридиана за каждый момент времени. На полученных диаграммах хорошо видна секторная структура крупномасштабных магнитных полей, которая не прослеживается при обычном способе построения широтно-временной диаграммы. Выполнен анализ амплитуды секторной структуры в течение 24-25 циклов активности.

Выполнено моделирование формирования секторной структуры в рамках модели переноса поверхностного магнитного потока (SFT). Показано, что формирование характерной секторной структуры хорошо описывается SFT моделью при использовании в качестве источников магнитные поля активных областей.

Дифференциальное вращение и меридиональные перемещения отдельных солнечных пятен

Тлатова К.А., Тлатов А.Г.

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

Выполнен анализ долготного и меридионального перемещения отдельных солнечных пятен и пор по данным обработки наблюдений космической обсерватории НМИ/SDO в период 2010-2024 гг. Мы обрабатывали 5 изображений за каждый день в континууме и накладывали контуры пятен на наблюдения магнитных полей на тот же момент времени. Найдено, что скорость вращения солнечных пятен зависит от магнитной полярности в 22-летнем магнитном цикле Хэйла. Пятна ведущей полярности вращаются более чем на $\approx 2\%$ быстрее, чем пятна хвостовой полярности. Скорость вращения солнечных пятен на фазе роста их площади и фазе распада меняется слабо. Для солнечных пятен с магнитным потоком $\Phi > 2 \cdot 10^{21}$ Мх скорость вращения практически не меняется с ростом магнитного потока.

Также выполнен анализ меридионального движения солнечных пятен. Получено, что скорость меридионального перемещения пятен тоже зависит от их магнитной полярности. Скорости меридионального перемещения пятен ведущей полярности направлены к экватору, а пятен хвостовой полярности к полюсам.

Возможности метода главных компонент при коррекции и прогнозировании солнечных циклов

Шибает И.Г.¹, Шибает А.И.²

¹ ИЗМИРАН, e-mail: ishib@izmiran.ru

² МГУ им. М.В. Ломоносова

Следует ожидать, что в восстановленной части ряда чисел Вольфа (1749 ÷ 1849 г.г.) наименее искажена область, примыкающая к достоверной части ряда, т. е. фрагмент цикла 9 (ветвь роста с окрестностью максимума — всего 65 точек-месяцев из 149) и область цикла 8. Также, из-за перехода к новой версии, была прервана регистрация 24-го цикла. В работе, для старой версии ряда чисел Вольфа v.1., предложены:

- коррекция характеристик и профиля циклов 8 и 9;
- вариант восстановления ветви спада цикла 24.

Это позволит увеличить статистику достоверных циклов. В работе используется метод главных компонент или PCA (Principal component analysis). Если N - размерность пространства объектов, тогда, при наличии линейных связей между компонентами объектов, PCA позволяет найти новую систему координат размерностью K ($K \ll N$), в которой, почти без потери информации, объекты хорошо различаются. В нашем случае циклы $10 \div 23$ ряда WSN выступают объектами, по которым выделяются главные компоненты, и PCA показал свою эффективность, так как всего первых двух главных компонент PC1 и PC2 ($K=2$) оказалось достаточно для хорошего приближения цикла i в виде: $W_i = W_{\text{mean}} + c_{1i} \cdot \text{PC1} + c_{2i} \cdot \text{PC2}$ (учитывается $> 90\%$ дисперсии данных). Опираясь на свойства коэффициентов c_{1i} , c_{2i} ($10 \leq i \leq 23$) и дополнительные условия (например, фрагменты профилей) можно проводить необходимые оценки.

II. Моделирование активных солнечных образований, процессов и явлений

Симпатические явления по наблюдениям на радиогелиографе Нобеяма

Абрамов-Максимов В.Е.

ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: beam@gaoran.ru

Под симпатическими явлениями на Солнце понимают такие события (вспышки, всплески), которые происходят с небольшим интервалом по времени в активных областях, удаленных друг от друга на значительные расстояния. Наличие таких явлений свидетельствует о том, что даже весьма удаленные друг от друга активные области оказываются физически связанными друг с другом.

Симпатические явления на Солнце были открыты в 30-е годы прошлого века по статистическим исследованиям солнечных вспышек. Долгое время реальность этих явлений подвергалась сомнениям. Однако ряд исследований по данным, полученным в различных диапазонах, свидетельствуют о реальности явлений.

Одним из инструментов, обладающим параметрами, подходящими для исследований симпатических явлений в радиодиапазоне, является радиогелиограф Нобеяма благодаря длинному ряду ежедневных (6–8 часов в день) наблюдений (с 1992 г. по март 2020 г.), высокому временному (1 сек) и пространственному (10 сек. дуги на волне 1.76 см) разрешению.

В данной работе представлены результаты наблюдений нескольких симпатических всплесков, выявленных по анализу архива наблюдений на радиогелиографе Нобеяма. Всплески в активных областях, удаленных друг от друга на значительные расстояния, произошли с задержкой от 10 до 20 мин, что свидетельствует о величине скорости распространения возмущающего агента не менее 1000 км/сек.

Анализ различий в дисперсии поперечных гармоник медленных магнитоакустических волн в корональных петлях

Агапова Д.В., Завершинский Д.И., Молевич Н.Е.

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

²СФ ФИАН, Самара

Магнитоакустические волны (МА) и тепловой дисбаланс в солнечной короне играют ключевую роль в процессах, происходящих на поверхности Солнца. Тепловой дисбаланс, обусловленный зависимостью радиационного охлаждения и нагрева от параметров плазмы, влияет на свойства МА волн, в частности вызывая дисперсию фазовой скорости.

Известно, что с помощью аналитических выражений фазовой скорости МА волн и наблюдательных данных стало возможно определение параметров солнечной плазмы. С помощью приближений тонкой потоковой трубки и магнитного слоя было показано, что пренебрежение процессами нагрева и радиационного охлаждения может привести к относительным ошибкам в определении параметров плазмы до 40-50%. Кроме того, приближение магнитного слоя позволяет анализировать дисперсии поперечных гармоник МА волн, что имеет ключевое значение для интерпретации наблюдений. В связи с этим важно установить временные масштабы, на которых различия в дисперсии между гармониками становятся значительными.

В данной работе исследованы различия в дисперсии фазовой скорости поперечных гармоник медленных МА волн внутри корональных петель вдоль линий магнитного поля. С использованием приближения магнитного слоя для условий солнечной короны рассчитаны зависимости фазовых скоростей первых четырех гармоник от их периодов. Результаты показывают, что наибольшие различия наблюдаются между фундаментальной и старшими гармониками при коротких периодах, а с увеличением отношения газодинамического к магнитному давлению эффект проявляется при больших периодах.

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

**Поведение микроволнового излучения
в активных областях с «запертыми»
и «открытыми» магнитными жгутами**

***Бакунина И.А.¹, Мельников В.Ф.², Шаин А.В.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*

Исследовано 15 вспышек рентгеновского класса М, семь из которых сопровождались СМЕ. Восстановление магнитного поля в нелинейном бессипловом 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. При этом, большая часть событий наблюдалась в закрытых магнитных конфигурациях. В них магнитные жгуты находились под замкнутыми аркадами вышележащих силовых линий (ориентированных квазиперпендикулярно или под небольшим углом). В другой части событий над жгутами наблюдались открытые магнитные конфигурации с силовыми линиями, уходящими высоко в корону. СМЕ наблюдались, в основном, в событиях с открытыми конфигурациями или с закрытыми конфигурациями, в которых магнитные жгуты располагались под небольшим углом к вышележащим замкнутым силовым линиям. Исследовано поведение распределения радиояркости на частоте 17 ГГц по данным NoRH в активных областях с магнитными жгутами обоих типов с целью выявления его особенностей для событий, сопровождающихся СМЕ.

Формирование каверн плотности в бессиловых конфигурациях магнитного поля солнечной короны

Беспалов П.А.¹, Савина О.Н.²

¹ *ФИЦ им. А.В. Гапонова-Грехова ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия, e-mail: pbespalov@mail.ru*

² *НИУ ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия, e-mail: onsavina@mail.ru*

Согласно результатам наблюдений и теоретическим моделям для разреженных областей солнечной короны характерны значительные стационарные и нестационарные продольные (вдоль магнитного поля) электрические токи. Стационарные продольные токи ответственны за формирование типичных для солнечной короны бессиловых конфигураций магнитного поля. Сравнительно крупномасштабные нестационарные продольные токи имеют место в инерционных и кинетических альвеновских волнах, наличие которых подтверждено наблюдениями. Если в локальном продольном токе упорядоченная скорость электронов превосходит их тепловую скорость, то в плазме развивается аperiodическая неустойчивость. Проведенные оценки показывают, что для условий в солнечной короне порог такой неустойчивости может быть превышен. Тогда, согласно выполненным расчетам, формируются многочисленные каверны плотности дебаевского масштаба с квадрупольными электрическими полями. Учет этой турбулентности важен для определения величины коэффициентов переноса и объяснения свойств потоков энергичных частиц в солнечной короне.

Работа П.А. Беспалова поддержана грантом РНФ по проекту № 20-12-268, численные расчеты выполнены в рамках Государственного задания по проекту № FFUF-2023-0002.

Генетический подход в подборе параметров алгоритма обратной свертки

Богомолов Ю.В.^{1,2}

¹ *Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова,
Ярославль, e-mail: mathematics@inbox.ru*

² *НИЯУ МИФИ, Москва*

Построение законов распределения физических величин на основе экспериментов затрудняется неизбежно возникающими погрешностями различной природы, поэтому принципиально не может быть выполнено точно. Для уменьшения влияния приборных искажений и построения более точных оценок распределений разрабатываются методы, известные под общим названием обратной свёртки.

Одним из таких методов является SVD-алгоритм [1], использующий идею регуляризации (введения в минимизируемую функцию погрешности штрафного слагаемого, отвечающего за гладкость результирующего распределения). Ранее нами предложена модификация этого алгоритма [2], основанная на использовании расширенной матрицы Кирхгофа, элементы которой характеризуют степень близости интервалов дискретизации оцениваемого распределения. Выбор конкретных значений элементов матрицы Кирхгофа и коэффициента регуляризации является открытой проблемой.

В работе предлагается метод оптимального выбора таких параметров, основанный на идее генетических алгоритмов. При этом создаётся множество наборов искомых параметров, которые комбинируются и изменяются в ходе итерационного алгоритма, имитирующего некоторые естественные эволюционные процессы.

Метод применён для восстановления спектра вторичных протонов в околоземном пространстве. В ходе вычислительного эксперимента отмечено снижение погрешности построенной оценки распределения по сравнению с исходным вариантом алгоритма обратной свертки (значение статистики Колмогорова-Смирнова снизилось с 0.83 до 0.81 для гладких спектров и с 1.24 до 1.20 для негладких).

[1] A. Hoecker and V. Kartvelishvili // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 372, 469 (1996).

[2] Богомолов Ю.В. и др. // Письма в ЖЭТФ, 2022, т. 115, вып. 12, с. 745–752.

Управляющие параметры эволюции солнечных активных областей

Головко А.А.

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

Активные области (АО) на Солнце можно рассматривать как сложные диссипативные открытые системы, эволюция которых описывается ограниченным числом управляющих параметров. В качестве таких параметров можно рассматривать общий суммарный беззнаковый магнитный поток F и дисбаланс магнитных потоков положительной и отрицательной полярности $\Delta F = F_N - F_S$. Общий магнитный поток, выносимый или формируемый в данном месте фотосферы, показывает корреляцию со временем жизни активной области [1]. Дисбаланс магнитного потока может служить мерой связи активной области с глобальным магнитным полем Солнца и с другими активными областями. Изучение эволюции активной области 12673, давшей наиболее мощную солнечную вспышку балла X9,3, 6 сентября 2017 г., выявило временные изменения в данной АО, сопровождающие вспышки [2]. Суммарный поток F показал депрессии во время вспышек. Величины депрессий, оцененные для 7 вспышек в данной АО, коррелируют со вспышечным индексом. Дисбаланс потока ΔF показал нарастание в течение 0,5 часа до вспышки балла X2,2 и за 2 часа до вспышки X9,3, с быстрым падением во время вспышки. Ранее подобное явление было описано в работе [3]. Указанные два параметра можно использовать в практике краткосрочного прогноза мощных событий: ход F демонстрирует текущую способность реализации энергии во вспышках, в то время как быстрое возрастание ΔF служит предвестником вспышки. Заслуживает внимания оценка надежности диагностики ΔF по магнитографическим измерениям. В качестве дополнительной информации, оценивалась текущая площадь участков перемежаемости, выявленных с помощью мультифрактального анализа. Ее изменение, связанное со структурной перестройкой магнитно-плазменных образований, показывает корреляцию с ходом ΔF , что подтверждает надежность и информативность оценки данного параметра. Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки России (проект № 0278-2021-0008).

- [1] Головко, А.А. // Астрон. журн. – 1998. – Т.75, №4. – С.618-625.
- [2] Golovko A.A., Salakhutdinova I.I. // Geomagnetism and Aeronomy, 2023, V.63, No. 7, pp. 113-121
- [3] A.A. Golovko A.A., Kotrc P. // Solar Physics. – 1992. – Vol.142, №1. – P.67-86.

**Яркостные температуры и электронные
концентрации сантиметрового излучения открытой
северной полярной области Солнца по данным
наблюдений максимальной фазы солнечного
затмения 29.03.2006 года**

Голубчина О.А.

*СПб Ф САО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: golubchina_olga@mail.ru*

В работе представлен краткий обзор основных результатов наблюдений максимальной фазы ($\Phi = 0.998$) солнечного затмения 29.03.2006 г. на радиотелескопе РАТАН-600 в сантиметровом диапазоне длин волн (1.03–30.7) см. При обработке наблюдений использовалось моделирование радиоизлучения Солнца и Луны. В работе приводятся полученные результаты яркостной температуры полярной корональной области Солнца, высокоширотного протуберанца полярной области Солнца, обнаруженное проявление идентичности яркостных температур полярной, среднеширотных и низкоширотных корональных дыр на Солнце в сантиметровом диапазоне длин волн в периоды минимальной солнечной активности. Обсуждаются полученные распределения электронной концентрации сантиметрового радиоизлучения Солнца. Приводятся данные о возможной нижней границе формирования солнечного ветра в открытой полярной корональной области Солнца во время максимальной фазы солнечного затмения (29.03.2006 г.) на РАТАН-600 в сантиметровом диапазоне длин волн.

Статистические свойства мягкого рентгеновского излучения во время мощных вспышечных событий

Гонасюк О.С.

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

Проведена количественная оценка основных термодинамических свойств мягкого рентгеновского излучения (SXR), включая температуру плазмы (T), меру эмиссии (EM), полученных *Geostationary Orbiting Environmental Satellite (GOES)* с февраля 2011 по декабрь 2022 г во время 59 мощных вспышечных событий. Исследованы статистические соотношения между этими основными свойствами вспышки и максимальным потоком *GOES*, продолжительностью вспышки, определенной на половине максимума потока *GOES*, а также магнитным потоком пересоединения во вспышке. Между длительностью мощных вспышек и максимальным потоком *GOES* корреляция практически отсутствует. Не все крупные вспышки имеют большую продолжительность. Нет никакого отличительного поведения между эруптивными и компактными вспышками. Максимальный поток SXR непосредственно связан со всеми основными термодинамическими свойствами SXR. В тоже время связь с потоком магнитного пересоединения практически отсутствует. Напротив, тепловая энергия вспышки демонстрирует сильную корреляцию с магнитным потоком пересоединения, в то время как с максимальным потоком SXR корреляция отсутствует. В эруптивных вспышках, по сравнению с компактными, средняя максимальная температура ниже, а мера эмиссии и максимальная тепловая энергия выше. Продолжительность эруптивных вспышек больше. Это предполагает, что для вспышек одного класса *GOES* эруптивные вспышки могут развиваться в более длинных петлях, чем компактные события.

Двухпериодические колебания плазмы в солнечной короне

Дертеев С.Б., Сапралиев М.Е., Михальев Б.Б.

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

Целью данной работы является изучение свойств дисперсии акустических волн в солнечной короне и ее роли в волновых явлениях, происходящих в короне. Мы полагаем, что дисперсия и затухание акустических волн могут приводить к возникновению квазипериодических пульсаций в солнечных активных областях типа корональных дыр и петель. Исследование основано на ранее предложенной модели неадиабатических акустических волн в высокотемпературной плазме, учитывающей свойства теплопроводности, радиационного охлаждения и нагрева [1, 2].

Эффект теплопроводности приводит к образованию локального минимума групповой скорости, что делает возможным возникновение групп волн с “коротким” и “длинным” периодом. Показано, что частотно-зависимое затухание приводит к образованию двух максимумов в спектре. Этот теоретический вывод подтверждается результатами вейвлет-анализа модельных временных сигналов. По периодам и длине затухания можно оценить параметры плазмы. При типичных значениях физических параметров корональной плазмы удастся получить периоды, близкие к наблюдаемым [3].

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ № 075-03-2024-113.

- [1] Derteev S. et al. // Physics, 2023, 5, 215.
- [2] Mikhalyaev B.B. et al. // Solar Physics, 2023, 298, 102.
- [3] Derteev S.B. et al. // Solar Physics, 2024 (in press).

Пространственно-временные вариации энерговыведения во время вспышки класса М по измерениям яркости вспышечных лент

Ерофеев Д.В., Кузьменко И.В.

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

Исследовались пространственно-временные изменения яркости во вспышечных лентах во время солнечной вспышки класса М 6.8, которая произошла 29.01.2024 г. в активной области NOAA 13559 вблизи западного лимба. Для анализа использовались изображения SDO/AIA в нескольких ультрафиолетовых (УФ) каналах (171, 131, 1600 и 1700 Å), а также измерения ASO-S интегрального потока жесткого рентгена (ЖР). По УФ изображениям построены распределения яркости вдоль восточной (Е) и западной (W) ленты в зависимости от времени. На основе анализа этих распределений получены следующие результаты.

1. Интегральная яркость вспышечных лент хорошо коррелирует с интегральным потоком ЖР излучения диапазона 20-50 Кэв, причем корреляция имеет место как для медленных (десятки минут) вариаций, так и для квазипериодических пульсаций минутного диапазона.

2. В каждой из вспышечных лент наблюдалась относительно крупномасштабная (15-20 угл.сек) волноподобная структура в виде ярких пятен, перемещающихся вдоль ленты в противоположных направлениях (к северу и к югу). При этом в западной (W) ленте более интенсивными были волны яркости, распространяющиеся на север, а в восточной (Е) ленте — на юг. Волны, распространяющиеся на север, имели большую скорость.

3. Найдено взаимное соответствие между волноподобными изменениями яркости в ленте W и в северной части и ленты Е, однако яркие области в южной части ленты Е не имели соответствия с какими-либо структурами ленты W. По-видимому, энергия, поступающая в южную часть ленты Е, не сбалансирована поступлением энергии в ленту W.

4. На фоне относительно крупномасштабных изменений яркости, во вспышечных лентах присутствовала мелкомасштабная структура в виде ярких узлов с размерами несколько угл. сек и временем жизни порядка 1 мин. Мелкомасштабная структура проявлялась в интегральном излучении лент в виде квазипериодических пульсаций (КПП) минутного диапазона, причем подобные КПП наблюдались также в ЖР и радио излучении. КПП происходили синхронно в обеих лентах и были связаны с крупномасштабными волнами, распространяющимися с юга на север (это не значит, что сами КПП являлись бегущими волнами, скорее, их амплитуда модулировалась крупномасштабной волной).

5. По-видимому, пространственно-временные вариации яркости вспышечных лент отражали волнообразный характер процесса энерговыведения в токовом слое.

**Связь площади тени солнечного пятна
и напряженности магнитного поля в центре тени
пятна и на границе тень-полутень**

Живанович И.¹, Соловьев А.А.², Королькова О.А.²

¹*Астрономска опсерваторија у Београду, Белград, Сербия,
e-mail: ivanzhiv@live.com*

²*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-петербург, Россия*

В результате обработки 46 солнечных пятен были получены распределения напряженности магнитного поля в центре тени пятна, напряженности магнитного поля на границе тень-полутень, а также площади тени пятен. Для определения площади тени пятна и значения напряженности на границе тени и полутени были использованы 2 разных метода, но существенных различий результатов не обнаружено. Было показано, что не существует конкретного значения напряженности магнитного поля на границе тени и полутени. Также продемонстрировано, что чем больше значение напряженности магнитного поля в центре его тени, тем больше площадь такого солнечного пятна, что хорошо соответствует теоретическим моделям солнечных пятен.

**О некоторых особенностях эволюции магнитного
комплекса активности, включающего АО NOAA
11944 и NOAA 11946, при его прохождении
по диску Солнца**

***Загайнова Ю.С.¹, Обридко В.Н.¹, Файнштейн В.Г.²,
Руденко Г.В.²***

¹*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радиоволн им. Н.В. Пушкова, Москва, e-mail: yuliazag@izmiran.ru*

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

Исследована эволюция свойств магнитного комплекса активности (МКА) при его прохождении по диску Солнца (03-12).01.2014. МКА состоял из двух магнитно-связанных активных областей (АО), расположенных в разных полушариях Солнца: АО NOAA 11944 (южное полушарие) и NOAA 11946 (северное полушарие). Выявлено, что в период (04.01–10.01) головные пятна этих АО были связаны петельными структурами, видимыми в УФ диапазоне, и соединены силовыми линиями магнитного поля, проходящими через солнечный экватор.

03.01.2014 АО 11946 еще не отождествлялась на диске Солнца, также АО 11944 не была связана магнитно с северным полушарием. А 11.01 и 12.01 не удалось выявить силовые линии поля, связывающие головные пятна двух АО, но области ведущей полярности в исследуемых АО в разных полушариях продолжали оставаться магнитно-связанными.

В анализируемый период в рассмотренном комплексе активности были зарегистрированы различные формы солнечной активности. Удивительно, но за весь период наблюдений в МКА корональные выбросы массы (КВМ) типа гало зарегистрированы не были. Даже при нахождении МКА вблизи лимбов было зарегистрировано относительно немного лимбовых КВМ, что позволяет исключить влияние КВМ на изменения магнитного потока исследуемого МКА. По мере прохождения МКА по диску Солнца было зарегистрировано относительно много солнечных вспышек в мягком рентгеновском диапазоне с баллом В, С, М. Однако мощные вспышки с баллом Х не наблюдались. Также следует отметить большое количество всплесков излучения в жестком рентгеновском диапазоне.

Нами были построены зависимости от времени беззнаковых магнитных потоков всех пятен, включая поры, отдельно для каждой полярности для каждой АО. Во всех случаях магнитный поток немонотонно нарастает, достигает максимального значения в период 06.01–08.01 и затем уменьшается. Сопоставлено изменение каждого магнитного потока $F(t)$ со временем с изменением суммарной площади соответствующих солнечных пятен $S(t)$. Обнаружены различия в характере изменения $F(t)$ и $S(t)$ в период 10.01–12.01.

**Многоволновые наблюдения
квазипериодических пульсаций в импульсной
солнечной вспышке C2.8 класса**

***Зимовец И.В.¹, Койнаш Г.В.¹, Шарыкин И.Н.¹,
Иванов Е.Ф.², Киселёв В.И.², Низамов Б.А.³***

¹*ИКИ РАН, Россия, Москва, e-mail: ivanzim@cosmos.ru*

²*ИСЗФ СО РАН, Россия, Иркутск*

³*ГАИШ МГУ, Россия, Москва*

Квазипериодические пульсации (КПП) наблюдаются во многих солнечных вспышках в диапазоне от радиоволн до гамма-излучения [1]. КПП являются особенностью вспышечного процесса энергосвечения в солнечной атмосфере. КПП могут быть описаны одной из множества предложенных физических моделей [2, 3]. Для уточнения необходимо проводить более тщательный мультипараметрический анализ многоволновых наблюдений.

Представлены результаты анализа многоволновых наблюдений импульсной солнечной вспышки C2.8 класса 19 марта 2023 г. 02:12–02:19 UT в активной области NOAA 13256 (S23E58) на диске Солнца. Событие имело многопиковую временную структуру с КПП в импульсной фазе с периодом $P \approx 12.3 \pm 2.5$ с. КПП детектировались в микроволнах, жестком рентгене и в производной по времени потока мягкого рентгена. Источники жесткого рентгена (>20 кэВ) совпадали в пространстве с двумя вспышечными лентами. Источник мягкого рентгена располагался между лентами и его центр яркости примерно совпадал с центром яркости микроволнового источника. По результатам анализа многоволновых наблюдений делается заключение о возможном характере и механизмах КПП.

- [1] Nakariakov, V.M., Melnikov, V.F. // Space Sci. Rev., 2009, v. 149, iss. 1-4, pp. 119-151
- [2] Kupriyanova, E.G., Kolotkov, D.Yu., Nakariakov, V.M., et al. // Sol.-Terr. Phys., 2020, v. 6, iss. 1, pp. 3-23
- [3] Zimovets, I.V., McLaughlin, J.A., Srivastava, A.K., et al. // Space Sci. Rev., 2021, 217, 66

Расчет спектра простой магнитогидростатической модели протуберанца

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 для магнитогидростатической (МГС) модели, описанной в [1]. В ней рассчитываются термодинамические параметры двумерной модели протуберанца на основе решения обратной МГС задачи. Мы рассчитали профиль линии $H\alpha$ для холодной части протуберанца согласно приближенной методике [2], а также в двумерной модели по методу MALI (см. [3]). Расчеты были проведены как для модели волокна (протуберанец наблюдается на диске Солнца), так и для наблюдений на лимбе. Качественно результаты близки, но при включении более горячих областей МГС модели согласие нарушается. При этом расчет по приближенной методике позволяет проводить быструю оценку параметров плазмы протуберанца, а учет переноса излучения улучшает точность МГС модели, т.к. позволяет рассчитать степень ионизации вещества и определить его молекулярный вес.

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, 2010, v. 54, No. 1, p. 86.
- [2] Heinzel P., Gunar S., Anzer U. // Astron. Astrophys., 2015, v. 579, A16.
- [3] Leger L. // These, 2008, Universite de Toulouse III, 152 p.

Место первичного энерговыведения и радиовсплески III типа во время начала мощной солнечной вспышки

Кашапова Л.К.¹, Жмуркина А.Д.¹, Шамсутдинова Ю.Н.¹

¹*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск,
e-mail: lkk@iszf.irk.ru*

Представлены результаты анализа начала импульсной фазы солнечной вспышки класса M6.5 по GOES, произошедшей 9 мая 2023 года. Временные профили события в различных спектральных диапазонах показывают сложную эволюцию, включая квазипериодические пульсации, наблюдавшиеся как в рентгеновском, так и в микроволновом диапазонах, а начало вспышки было связано с мощным радиовсплеском III типа. Пространственная структура, восстановленная на основе рентгеновских изображений ASO-S/HXI и микроволновых изображений Сибирского Радиогелиографа, указывает на существование вспыхивающей петли и рентгеновского источника высоких энергий в вершине петли на ранней фазе развития вспышки. Проведенная оценка скорости потоков электронов, сгенерировавших данный радио всплеск III типа, позволила оценить возможное время задержки между всплесками, наблюдаемыми в метровом и микроволновом диапазонах. Согласно этой оценке источник радио всплесков III типа находился в области формирования излучения на частоте 1 ГГц. Однако соответствующие всплески на высоких частотах микроволнового диапазона и жестком рентгеновском излучении зафиксированы на 12 секунд раньше всплеска на 1 ГГц. В докладе обсуждается положение и спектральные свойства источников в микроволновом и рентгеновском диапазонах, возможная вторичная природа радиовсплесков III типа, а также согласие полученных результатов с известными моделями вспышек.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-00315, <https://rscf.ru/project/24-22-00315/>.

**Использование методов машинного обучения
для создания каталога солнечных вспышек
по наблюдениям на Сибирском Радиогелиографе**

***Шамсутдинова Ю.Н., Рожкова Д.В., Кашапова Л.К.,
Губин А.В.***

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

В докладе представлены результаты по созданию каталога солнечных вспышек Сибирского Радиогелиографа (СРГ) с использованием методов машинного обучения. Для отбора событий — кандидатов была предложена и протестирована методика, которая позволяет определить начало, максимум и окончание солнечной вспышки (события), анализируя производную временного профиля, заданного численной функцией. Так как данные СРГ являются многоволновыми, то для выбора событий был введен критерий, который позволяет автоматически отбирать события в зависимости от одновременного отклика на нескольких частотах. Для уточнения того, что в отобранный временной период наблюдалась именно солнечная вспышка был применен Метод Опорных Векторов (SVM) с использованием предварительно обученной и протестированной модели. Также для классификации динамических спектров была использована Сверточная Нейронная Сеть (CNN). Алгоритм был применен в тестовом режиме для выявления солнечных вспышек, наблюдавшихся на СРГ в диапазоне 3-24 ГГц в течение летних месяцев 2023 и 2024 годов, что дало обширный материал как для обучения моделей, так и для их тестирования. В докладе показаны примеры обнаруженных событий обсуждаются и сравниваются результаты, полученные с помощью разных методов распознавания, типы входных данных и подходы к их предварительной обработке для достижения наилучшего результата.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-00315, <https://rscf.ru/project/24-22-00315/>.

**Об особенностях моделирования коротирующих
областей взаимодействия солнечного ветра
для описания этих областей и вариаций
интенсивности ГКЛ в них**

Крайнев М.Б., Калинин М.С.

Физический институт РАН, Москва, Россия

Основной объём гелиосферы (вне орбиты Земли) исследован довольно плохо. В этих условиях особую значимость для изучения гелиосферных явлений, для которых эта область важна (например, формирование коротирующих областей взаимодействия (КОВ) разноскоростных потоков солнечного ветра и связанные с ними явления в интенсивности ГКЛ), имеет моделирование этих явлений. Этим расчётам посвящено много работ, однако, в основном они посвящены прогнозу околоземных характеристик гелиосферы и ограничиваются небольшими расстояниями от Солнца (в пределах $r = 1 - 2$ а. е.).

В докладе будут сформулированы некоторые особенности МГД-моделирования КОВ до значительно больших расстояний от Солнца ($r/gt20 - 30$ а. е.), необходимые для описания как самого явления КОВ, так и связанных с ним явлений в интенсивности ГКЛ.

О влиянии обратного тока на возбуждение ленгмюровских волн в плазме солнечных вспышек

Кудрявцев И.В., Ватагин П.В.

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

Хорошо известно, что во время солнечных вспышек происходит ускорение электронов до высоких энергий и генерация электромагнитного излучения в широком диапазоне частот. Быстрые электроны распространяясь в солнечной плазме генерируют жесткое рентгеновское излучение и могут возбуждать плазменные волны. Последние в результате слияния порождают электромагнитные волны, которые регистрируются радиотелескопами на Земле. При инъекции пучков электронов в плазму, как известно, происходит генерация обратного тока, состоящего из медленных (тепловых) электронов. В докладе рассматривается вопрос о влиянии электрического поля обратного тока на генерацию плазменных волн.

**Диагностика ленгмюровской турбулентности
на основе дециметрового излучения слабого
транзиентного события 16 марта 2023 г.**

Кудрявцев И.В.¹, Овчинникова Н.Е.², Кальтман Т.И.²

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

²*САО РАН, С.-Петербург*

В докладе представлены результаты анализа солнечного всплеска на основе наблюдений на РАТАН-600 в диапазоне 1-3 ГГц на новом спектрополяриметрическом комплексе с высоким спектральным разрешением.

Узкополосное излучение в диапазоне 1.2–1.6 ГГц совпало по времени с динамическим развитием двух ярких рентгеновских точек (X-Ray bright points), зарегистрированных AIA/SDO в нескольких линиях в крайнем ультрафиолетовом диапазоне. Яркие рентгеновские точки, каждая размером около 4 угловых секунд, находились вблизи пор активной области 13253. Всплеск с амплитудой 0.2-0.7 с.е.п. был зарегистрирован в течение 3 секунд с временным разрешением 8 мс, что позволило проанализировать его динамику.

Предполагается, что энерговыделение в области рентгеновских точек было вызвано магнитным пересоединением и сопровождалось ускорением электронов и образованием плазменной турбулентности. В докладе радиоизлучение всплеска рассматривается как результат слияния плазменных волн с образованием поперечных электромагнитных волн, наблюдаемых на РАТАН-600. Для различных моментов времени найдены спектры плазменных волн, позволяющие описать измеренные спектры радиоизлучения всплеска. Анализируются механизмы формирования полученных спектров плазменных волн. Приводятся оценки размера излучающей области для различных значений энергии ленгмюровской турбулентности.

Одним из определяющих процессов для формирования спектра ленгмюровских волн является индуцированное рассеяние этих волн на тепловых частицах плазмы. При этом от мощности генерации плазменных волн будет зависеть сам процесс этого рассеяния и плотность энергии плазменных волн, и следовательно мощность радиоизлучения. Поэтому для детального изучения этих процессов необходимо проведение измерений солнечных радиовсплесков, с большим разбросом мощности излучения, что позволяет осуществить новый аппаратный комплекс, обладающий высокой чувствительностью и широким динамическим диапазоном.

О бетатронном ускорении в симметрично осциллирующих корональных структурах

Куприянова Е.Г.^{1,2}, Шабалин А.Н.², Чариков Ю.Е.²

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: elenku@bk.ru

² Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
Санкт-Петербург, e-mail: ShabalinAN@mail.ioffe.ru

Наличие в осциллирующей корональной плазменной неоднородности умеренно релятивистских электронов делает её источником осциллирующего гиротронного (ГС) излучения. В предыдущих работах было показано, что отклик ГС излучения на осцилляции параметров плазменного слоя, вызванные линейной симметричной МГД волной, является нелинейным [1, 2]. Однако, для простоты, в этих работах не учитывалось самосогласованное изменение функции распределения энергичных электронов во времени. Симметрично осциллирующая плазменная неоднородность является ловушкой для ускоренных электронов с осциллирующим конусом потерь. Вариации магнитного поля в магнитной ловушке могут вызвать бетатронное ускорение электронов, что приведёт к перераспределению энергичных электронов по энергиям. В данной работе мы проводим моделирование и анализ этого эффекта. Моделирование симметричной МГД волны проводится в рамках аналитического решения системы линеаризованных МГД уравнений. Моделирование кинетики ускоренных электронов проводится в рамках численного решения нестационарного релятивистского уравнения Фоккера-Планка. Показано, что в результате бетатронного ускорения существенно меняется спектр ускоренных электронов. При $B_{FP}/B_{LT} \approx 2$ происходит увеличение концентрации электронов с энергиями 100 кэВ – 10 МэВ на 50%, что в свою очередь может оказать влияние на ГС излучение в области частот 17–34 ГГц.

[1] Куприянова Е.Г. и др. // Изв. ВУЗов. Радиофизика, 2022, т. 65, с. 287.

[2] Kupriyanova E.G. et al. // MNRAS, 2022. v. 516, p. 2292.

Реконструкция динамики АО из магнитограмм, моделью больших диффеоморфизмов

Макаренко Н.Г.¹, Преображенский И.Е.²

¹ ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: ng-makar@mail.ru

² ЯрГУ, Ярославль, e-mail: preobrazenskii@gmail.com

Дарси Томпсон, зоолог из Эдинбурга, в 1917 г. предположил, что две биоформы принадлежат одному классу выбранной таксономии, если их можно связать непрерывной деформацией. Эти идеи метаморфоза получили развитие в дифференциальной геометрии. Локальные 1-1 значные дифференцируемые преобразования (диффеоморфизмы), реализованные последовательно во времени, образуют группу Больших Деформаций. Преобразование формы реализуется гладким векторным полем, деформирующим координаты, и образующим группу Ли для локальных сдвигов. Эта техника широко используется при анализе медицинских изображений в области Вычислительной Анатомии.

Мы использовали эту технику, для того чтобы связать временную последовательность HMI/SDO магнитограмм содержащих поля Активных Областей (АО) Солнца. Эвристически, связь понимается в смысле гидродинамического метаморфоза: образ магнитных паттернов одной магнитограммы, перетекает в паттерны смежной по времени магнитограммы, под действием векторного поля, деформирующего координатную сетку. В принципе, задача решается минимизацией функционала, содержащего энергию Дирихле цифрового изображения и оператор Стокса.

Нам удалось найти группу диффеоморфизмов, связывающих две магнитограммы разделенные интервалом 720 сек. Удовлетворительная точность достигалась за 300 итераций. Обобщение полученной аналитической модели на большие интервалы времени затрудняется эффектом всплывания новых потоков, нарушающих биекцию. Тем не менее, мы надеемся получить крупнозернистый вариант решения, используя дискретный вариант кривизны Оливье-Риччи, в качестве регуляризатора.

**Пространственные и спектральные характеристики
источника микроволнового излучения во вспышке
9 мая 2023 года по данным Сибирского
радиогелиографа**

Мельников В.Ф.¹, Кузнецов А.А.², Анфиногентов С.А.²,
Ву Ж.³, Чень Я.³

¹ ГАО РАН, С.-Петербург, Россия, e-mail: v.melnikov@gaoran.ru

² ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

³ Шаньдунский университет, Вэйхай, Китай

В данной работе мы подробно исследовали солнечную вспышку рентгеновского класса М6.5, произошедшую 9 мая 2023 года, зарегистрированную комплексом телескопов: Сибирским радиогелиографом, гамма спектрометром Конус-Винд, китайским широкополосным миллиметровым спектрометром CBS [1].

Обнаруженные в [1] наблюдаемые особенности микроволновых спектров и локализации радиоисточников во вспышечной петле, а также пространственная дисперсия на различных частотах объяснены с помощью (а) метода NLFFF экстраполяции магнитного поля, (б) решения уравнения Фоккера-Планка для распределения электронов вдоль вспышечных петель, (в) моделирования гиросинхротронного излучения. Мы пришли к выводу, что ускорение частиц в этой вспышке происходит в компактной области в правой части вспышечной петли, близкой к её вершине, возможно, в области каспа (в области пересоединения силовых линий магнитного поля).

Обнаружено, что показатели энергетического спектра электронов, восстановленные по данным жесткого рентгеновского и микроволнового-миллиметрового спектра, существенно отличаются друг от друга: $\delta_{HXR} - \delta_{\mu} \approx 2$. Показано, что это противоречие может быть снято при учёте взаимодействия высокоэнергичных электронов с турбулентностью вистлеров [2].

[1] Wu Zh., Kuznetsov A.A., Anfinogentov S.A. et al. // *Astrophys. J.*, 2024, V.968:5 (11pp).

[2] Melnikov V.F., Filatov L.V. // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2021, V.61, No.8, pp. 1189–1196.

Изменение ориентации дипольного момента активной области Солнца

Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.

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

Проведено исследование временного изменения восточно-западной ориентации магнитного дипольного момента активной области Солнца. На основе анализа ежедневных магнитограмм обсерватории Kitt Peak были выявлены закономерности изменения этой ориентации. Оказалось, что смена ориентации происходит вследствие появления новых зон максимальной напряженности магнитного поля. И такая смена может происходить не один раз. На основе этих особенностей была предложена модель источника активной области как системы соленоидов, которые меняют свой наклон к уровню фотосферы. С целью изучения временной вариации этого наклона была исследована активная область, регистрируемая в трех Кэррингтоновских оборотах CR2049 – CR2051. Магнитный диполь этой активной области меняет ориентацию в восточно-западном направлении не менее 4-х раз. Наклон оси соленоидов источника изучаемой активной области к поверхности фотосферы не превышает 60 градусов. На фазе затухания этой активной области влияние на дипольный момент оказывает только один соленоид. Ось этого соленоида испытывает колебания около величины 40 градусов относительно поверхности фотосферы.

Магнитный дипольного момента источника солнечной вспышки

Мерзляков В.Л.

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

Проведена оценка дипольного момента источника солнечной вспышки на основе анализа размера сечения зоны ускорения электронов. Использовались ранее найденные максимальные протяженности сечения указанной зоны для слабых и мощных вспышек. Было найдено, что величина искомого дипольного момента составляет $10^{27} - 10^{28}$ [СГС]. И эта величина не связана с мощностью вспышки. В таком случае мощность солнечной вспышки, вероятно, определяется магнитной конфигурацией активной области, где происходит вспышка.

Измерения продольного поля по спектрополяриметрическим данным и микротурбулентный характер магнитного поля

Можаровский С.Г.

*Институт прикладной астрономии, Санкт-Петербург,
e-mail: mozharovskys@mail.ru*

Самым эффективным методом оценки продольного поля (в разы более стабильным, чем инверсия из модели фотосферы ME – Милна-Эддингтона) является оценка поля по разности положений центров тяжести (Center Of Gravity – COG) $I + V$ и $I - V$ параметров Стокса. Эта разность равна магнитному расщеплению спектральной линии в продольном поле и искажается только деполаризацией из-за аномальной дисперсии. Типичная величина деполаризации – 10% для линии Fe I λ 6301 Å и 5% для Fe I λ 6302 Å. Метод COG простой с точки зрения вычислений. На результат оценки продольного магнитного поля не влияет поле скоростей или модель фотосферы. Этим методом можно независимо друг от друга измерять поле с помощью разных линий, в частности, линий 6301 и 6302.

В работе продемонстрированы примеры измерений продольного поля из данных спектрополяриметра Hinode. Корреляция COG-значений поля для линий 6301 и 6302 значительно лучше, чем корреляция между значениями COG и ME-инверсии.

Отношение значений продольного поля $k_{B12} = |B_{||,6301}|/|B_{||,6302}|$, для полутени составляет ~ 0.95 и соответствует расчётам k_{B12} для одномерных моделей фотосферы с учётом деполаризации. Спокойная фотосфера вблизи центра диска Солнца показывает неожиданную картину. Статистическое среднее значение k_{B12} линейно меняется от 1.2 до 1.0 при изменении продольного поля от 50 до 800 Гс. Величина k_{B12} испытывает вариации относительно среднего значения. Если эти вариации нанести на карту, оказывается, что разные магнитные узлы имеют разное значение k_{B12} , которое к тому же непостоянно во времени. Таким образом, аномальное значение $k_{B12} > 1$ является свойством магнитных образований спокойной фотосферы. В модельных расчётах его можно получить задав периодическое изменение величины или даже знака продольного поля с высотой. Это предполагает микротурбулентный характер магнитного поля и/или его резкие изменения на разнице высот порядка десятков км.

Поиск возможных предвестников серии солнечных вспышек, произошедших 9 декабря 2014 года

Моторина Г.Г.^{1,2}, Шарыкин И.Н.², Зимовец И.В.²

¹ ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, e-mail: g.motorina@yandex.ru

² ИКИ РАН, г. Москва

В работе проанализирована динамика развития активной области (АО) NOAA 12230, которая 09.12.2014 в течение 12 часов вызвала серию последовательных вспышек рентгеновского класса C5–C9 с периодичностью около 2 ч. Эту АО отличало быстрое нарастание активности и последующий стремительный спад, что можно рассматривать как отличный пример для изучения вероятных предвестников мощных вспышек. Данная работа посвящена изучению эволюции АО и перехода из состояния «невспышечного» к режиму инициирования серии вспышек. Для этого нами была проанализирована динамика магнитного поля по векторным магнитограммам SDO/HMI, ультрафиолетовые изображения по данным SDO/AIA, карты дифференциальной меры эмиссии, а также рентгеновские наблюдения (данные RHESSI), предшествующие началу вспышек в данной АО. В заключении обсуждаются полученные результаты и особенности предвестников как возможного отдельного класса вспышечных событий.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ No. 20-72-10158 (Г.Г. Моторина, И.Н. Шарыкин, И.В. Зимовец).

**Положения солнечных вспышек и цепочки
максимумов плотности тока, лежащих на особых
линиях, полученные в результате МГД
моделирования над активной областью**

Подгорный А.И.¹, Подгорный И.М.²

¹*Физический Институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва,
e-mail: podgorny@lebedev.ru*

²*Институт Астрономии РАН, Москва*

Наблюдаемое первичное освобождение энергии солнечной вспышки в короне на высотах 15000 – 70000 километров объясняется взрывным освобождением энергии, накопленной в магнитном поле токового слоя, который образуется в окрестности особой линии магнитного поля. Быстрое освобождение магнитной энергии токового слоя приводит к наблюдаемым проявлениям вспышки, которые объясняются электродинамической моделью солнечной вспышки, предложенной И. М. Подгорным [1]. Для определения положения вспышек в сложной конфигурации магнитного поля разработана графическая система поиска, основанная на определении положения максимумов плотности тока. Детальное исследование предвспышечного состояния над активной областью AR 10365 в 02:32:05 26 мая 2003 г., за три часа до вспышки M 1.9, было проведено путем сравнения результатов численного МГД-моделирования в короне с наблюдениями радиоизлучения на частоте 17 ГГц, полученное на радиогелиографе Нобеляма. В этот момент накопления энергии для вспышки плазма нагревается токами. Исследование показало появление протяженного токового слоя шириной ~50000 км, представляющего собой поверхность магнитных линий, проходящих через цепочку близко расположенных максимумов плотности тока. Магнитные линии поверхности имеют форму арок, расположенных в яркой области вспышечного излучения. В центре такого токового слоя не обязательно должен быть достигнут трехмерный максимум плотности тока.

- [1] Подгорный И.М., Балабин Ю.В., Вашенюк Э.В., Подгорный А.И. О механизмах генерации жесткого рентгеновского излучения и релятивистских протонов в солнечной вспышке. Астрон. журн. Т. 87, No 7, С. 704-716, 2010.

**Исследование свойств источника
энерговыведения круговой вспышки
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: lk@iszf.irk.ru*

В отличие от стандартной двухленточной солнечной вспышки, основой которой является аркада петледей, круговые вспышки связаны с магнитной структурой, напоминающей купол. Большинство вспышек такого типа наблюдались на диске Солнца, что практически не дало возможности изучить их высотную структуру.

Мы представляем результаты исследования *первых многоволновых наблюдений круговой солнечной вспышки* в микроволновом диапазоне класса M7.2 GOES, произошедшей 12 июля 2023 года на восточном лимбе. Событие было зарегистрировано набором инструментов с пространственным разрешением в крайнем ультрафиолетовом, радио и рентгеновском диапазонах, что позволило проанализировать не только развитие топологии вспышки, но и спектральные свойства ее излучения.

По данным Сибирского радиогелиографа (СРГ) в микроволновом диапазоне (3-24 ГГц) можно выделить три основных вспышечных источника. Однако в рентгеновском диапазоне 10-100 кэВ по данным Hard X-ray Imager (ASO-S) виден только один источник, который пространственно совпадает с микроволновым источником в центре магнитного купола. Обсуждаются полученные оценки параметров вспышечной плазмы, полученные для разных областей исследованного события.

Распространение крутильных волн в зарождающихся солнечных пятнах

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

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

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

В работе исследуется всплывание тонкой магнитной трубки из конвективной зоны на фотосферный уровень Солнца с учётом влияния пространственной структуры магнитного поля внутри трубки на результирующий момент сил, вращающий трубку вокруг оси. Для этого выводится система дифференциальных уравнений, определяющая частоту вращения трубки и закрутку вихревого магнитного поля вокруг центральной оси в зависимости от времени. Выведено уравнение движения центральной оси трубки с учётом влияния закрученности вихревого магнитного поля.

Исследуется эволюция закрутки вихревого магнитного поля и частоты вращения магнитной трубки на различных стадиях подъёма к фотосферному уровню. Обнаружена нелинейная крутильная волна, распространяющаяся в нижней (затопленной) части арочной магнитной структуры. Исследуется временная эволюция закрутки и частоты вращения в лидирующем и ведомом пятнах арочной магнитной структуры на фотосферном уровне.

Критические токи в корональных магнитных петлях и их возможное проявление во время вспышечных процессов

Симонова Т.В., Зайцев В.В.

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

В работе исследовано условие равновесия корональных магнитных петель с электрическими токами (обобщенный критерий Беннета). Для модели петли, представленной в виде тонкой аксиально симметричной магнитной трубки, были рассмотрены случаи замыкания тока как через её поверхность, так и через фотосферу.

Показано, что для исследуемых моделей существует некоторое значение тока, которое, в зависимости от величины магнитного поля, задаёт минимально возможный (критический) ток, при котором может существовать стационарная структура петли.

В работе показано, что в случае вспышечного процесса, сопровождающегося инъекцией хромосферной плазмы и увеличением газового давления внутри петли, ток вдоль петли будет уменьшаться экспоненциально с характерным масштабом $Z_* = \frac{c^2}{4\pi\sigma_p V_z}$, где σ_p — проводимость Педерсена, V_z — скорость потока испаряющейся плазмы, c — скорость света. Таким образом, значение тока может становиться ниже критического, что приведёт к нарушению равновесия петли, в частности — к возбуждению осцилляций высоты петли, что в работе проиллюстрировано примерами.

Диагностика динамики магнитного поля в области солнечных вспышек на основе данных Сибирского радиогелиографа

Смирнов Д.А.^{1,2}, Мельников В.Ф.¹

¹ ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: v.melnikov@gaoran.ru

² ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород,
e-mail: dmitriy.smirnov@unn.ru

В докладе приведены результаты анализа изображений и частотного спектра излучения в максимуме яркости радиоисточников во вспышках 20 января 2022 г и 16 июля 2023 г, зарегистрированных Сибирским радиогелиографом в диапазонах 3–6 ГГц и 6–12 ГГц.

Радиодиагностика проводилась методом, основанным на минимизации функционала, содержащего интенсивности теоретически рассчитываемых и наблюдаемых частотных спектров левополяризованного и правополяризованного излучения. В результате радиодиагностики выявлены особенности динамики напряженности и ориентации магнитного поля, а также концентрации и энергетического спектра нетепловых электронов. Установлено, что на фазе роста основных пиков излучения магнитное поле уменьшается, а на фазе спада, наоборот, увеличивается. Скорость этих изменений варьируется от нескольких единиц до 11 Гс/с для вспышки 20 января 2022 г., и составляет около 1 Гс/с для вспышки 16 июля 2023 г. Эти значения близки значениям, полученным при диагностике лимбовой вспышки 6 сентября 2017 г [1].

Мы рассматриваем две возможные причины таких изменений. Первая заключается в том, что обнаруженные изменения являются реальными изменениями поля в некотором локальном фиксированном объеме области вспышки. Вторая причина заключается в том, что имеет место некоторое неразрешенное радиогелиографом перемещение центра яркости радиоисточника из области с более сильным магнитным полем в область с более слабым полем и наоборот.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-12-00308.

- [1] Fleishman G.D., Gary D.E., Chen B., et al. // Science, 2020. Vol. 367, no. 6475, p. 278–280.

Радиодиагностика вспышек на основе частотного спектра в ограниченном диапазоне частот

Смирнов Д.А.^{1,2}, Мельников В.Ф.¹

¹ ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: v.melnikov@gaoran.ru

² ННГУ, Нижний Новгород, e-mail: dmitriy.smirnov@unn.ru

Радионаблюдения Солнца не всегда перекрывают весь частотный диапазон вокруг частоты спектрального максимума f_{peak} от низких ($f \ll f_{peak}$) до высоких частот ($f \gg f_{peak}$). Часто бывает, что он ограничен некоторым относительно узким участком.

В данной работе проверяется возможность проведения радиодиагностики на основе данных о частотном спектре в ограниченном диапазоне частот согласно методике, описанной в работе [1]. Для этого были исследованы погрешности восстановления параметров плазмы и ускоренных частиц для двух модельных радиоисточников с разными заданными параметрами для нескольких характерных случаев. В первом восстановление велось на основе данных только в низкочастотном диапазоне спектра, до f_{peak} , где обычно доминирует самопоглощение или эффект Разина [2]. Во втором случае диапазон включал также область в окрестности f_{peak} , где источник уже частично оптически тонкий. В третьем случае рассматривался диапазон, включающий область вблизи f_{peak} и область спектра, где источник оптически тонкий. В четвертом — только диапазон $f > f_{peak}$. В пятом — все участки спектра. Отличие второй модели от первой состояло, прежде всего, в значительном увеличении отношения электронной концентрации плазмы и напряженности магнитного поля (в 8.75 раз). Это было сделано для того, чтобы усилить эффект Разина и оценить его роль при проведении диагностики.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-12-00308.

[1] Смирнов Д.А., Мельников В.Ф. // Солнечно-земная физика, 2024, т. 10, № 3, СС. 27–39.

[2] Разин В.А. // Изв. вузов. Радиофизика, 1960, т. 3, № 4, сс. 584–594.

Особенности субтерагерцового излучения вспышки SOL20130416T07:30 рентгеновского класса С

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

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

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

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

Солнечные субтерагерцовые (суб-ТГц) события, характеризующиеся положительным наклоном частотного спектра в коротковолновой части, зачастую связаны со вспышками рентгеновских классов М и Х по классификации GOES. В более слабых вспышках рентгеновского класса С, суб-ТГц излучение наблюдается крайне редко и особенности нагрева, энерговыделения и параметров плазмы таких событий не изучены.

В данной работе исследуются особенности суб-ТГц излучения на разных фазах солнечной вспышки SOL20130416T07:30 рентгеновского класса С, по данным наблюдений на радиотелескопе РТ-7.5 МГТУ им. Н.Э. Баумана, на частотах 93 и 140 ГГц. Исследуется связь суб-ТГц, рентгеновского и коротковолнового ультрафиолетового излучения, а также вариаций температуры и меры эмиссии плазмы корональных петель. Рассмотрены механизмы суб-ТГц излучения на разных фазах вспышки. Показано, что для данного события, в предимпульсной фазе, корональная тепловая плазма вносит определяющий вклад в суб-ТГц излучение.

- [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.

Жгутовые модели вспышек и переход волокна в режим КВМ

Соловьев А.А., Королькова О.А.

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

Дан обзор результатов, полученных авторами в последние годы, по моделированию солнечных вспышек в бессиловых магнитных жгутах, показана высокая эффективность жгутовых моделей в описании вспышечной активности Солнца.

Рассматривается слабо искривленная магнитная петля (часть вершины вертикального магнитного тора), концами закреплённая в фотосфере, с двумя компонентами бессилового поля $\mathbf{B} = \{B_z(r), 0, B_\phi(r)\}$, длины L и радиусом сечения a ($L \gg a$). Её объем: $V = L \cdot \pi a^2 \approx 3 \cdot 10^{10} \cdot \pi \cdot (10^9)^2 \approx 10^{29}$ см³. Запас свободной магнитной энергии в скрученной трубке: $E_{free} \geq \langle B_\phi^2 \rangle (8\pi)^{-1} V$. Угловые скобки означают усреднение по сечению жгута. Если среднее азимутальное поле равно 500 Гс, то $E_{free} \geq 10^{33}$ эрг. Десятая часть этой энергии обеспечит энергетику крупной солнечной вспышки.

Какие силы действуют на вспышечное волокно с бессиловым внутренним полем, и каковы условия его перехода из статики в режим непрерывного убегания (КВМ)? Для слабо изогнутого бессилового магнитного волокна условие поперечного равновесия имеет вид $\langle B_z^2 \rangle = B_{z,ex}^2$, где справа стоит давление продольного внешнего поля, удерживающее жгут от бокового расширения. Сила, действующая по длине петли, $F_{L,0} = \frac{V}{L} \left[\frac{\langle B_\phi^2 \rangle}{8\pi} - 2 \frac{\langle B_z^2 \rangle}{8\pi} \right]$. При скрученности поля $\frac{\langle B_\phi^2(r) \rangle}{\langle B_z^2(r) \rangle} > 2$ она положительна, т.е. растягивает жгут. Однако есть еще две силы, связанные с внешним воздействием на волокно: 1-ая из них обусловлена вертикальной неоднородностью внешнего продольного поля. По порядку величины эта сила равна: $F_{L,1} = \frac{V}{a} \frac{B_{z,ex}^2}{8\pi} = \frac{V}{a} \frac{\langle B_z^2 \rangle}{8\pi}$. Она положительна и заметно больше $F_{L,0}$, поскольку в ней L заменяется на a , при том, что длина петли на порядок превышает радиус её сечения. Вторая внешняя сила связана с наличием внешнего магнитного поля, поперечного по отношению к оси жгута. Здесь различаем два случая: 1. Если направление поперечного поля совпадает с направлением поля $B_\phi(r)$ на нижнем обходе жгута, то возникает положительная сила, подпирющая жгут снизу вверх, и в сумме с $F_{L,1}$ это обеспечит формирование КВМ сразу вслед за вспышкой. 2. Если поперечное поле совпадает с $B_\phi(r)$ на верхнем обходе жгута, то возникает перекрытие волокна «магнитным куполом», который препятствует движению жгута вверх. Сила, обусловленная этим полем, составит: $F_{L,2} = -\frac{V}{a} \frac{B_{ex}^2}{8\pi} \sin(\mu)$, где μ — угол между осью волокна и внешним полем $\mathbf{B}_{ex}$. Конкуренция двух разнонаправленных сил $F_{L,1}$, $F_{L,2}$ и определит всю динамику магнитного жгута. К сожалению, ни измерить, ни рассчитать эти силы мы не можем, но по реконструкции бессилового магнитного поля в короне можно оценить угол μ . Когда он мал, тормозящее действие

поперечного магнитного поля ослабевает, и тогда волокно может перейти из равновесия в режим КВМ и в случае 2.

Рентгеновские предвестники солнечных вспышек

Степанов А.В.¹, Зайцев В.В.²

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: aster44@mail.ru

² Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород,
e-mail: za130@ipfran.ru

Исследовано происхождение предвестников мягкого рентгеновского излучения, возникающих перед импульсной фазой вспышки и свидетельствующих о быстром нагреве оснований корональных магнитных петель до температур 10–15 МК. Показано, что скорость нагрева предвестников при наблюдаемой длительности 10 с должна на 4–5 порядков превышать скорость квазистационарного нагрева короны при сравнимых электрических токах. Предполагается, что предвспышечный нагрев связан с резким возрастанием продольного электрического тока при развитии в хромосферных основаниях неустойчивости Рэлея — Тейлора. Показано, что если величина импульсного тока превышает 10^{11} А, то темп джоулевого нагрева плазмы опережает темп ионизации. В этом случае в течение процесса нагрева в плазме предвестника сохраняется относительно большое количество нейтралов, $n_a/n \sim 10^{-5}$, которое более чем на два порядка превышает количество нейтралов в квазистационарной короне. Указанное обстоятельство обеспечивает быстрый нагрев области предвестника за счет увеличения скорости диссипации тока при сопротивлении Каулинга, связанного с ионно-атомными столкновениями.

Длительность и темп ускорения протонов в GLE и не GLE событиях

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

¹Институт космических исследований РАН, Москва,
e-mail: astrum@cosmos.ru

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

Для исследования вспышек и связанных с ними протонных событий (Ground Level Enhancement(GLE) и не GLE) в мае-июне 2024 года используются данные детектора ACS SPI (The AntiCoincidence Shield of the SPectrometer on the INTEGRAL), который регистрирует первичные и вторичные HXR > 100 кэВ. Вторичные HXR рождаются при взаимодействии в ACS SPI галактических и солнечных протонов. Начало значимого возрастания темпа счета ACS SPI во время или после HXR излучения солнечной вспышки может быть моментом первой регистрации прихода солнечных протонов на орбиту Земли ([1]).

Электроны и протоны ускоряются стохастически в процессе множественного пересоединения в эруптивных солнечных вспышках — «магнитной детонации» ([2]). Темп и время ускорения протонов можно оценить по промежутку времени между началом регистрации излучения электронов >100 кэВ и первым приходом протонов >100 МэВ на орбиту Земли. Во вспышках, которые сопровождались протонными событиями (без GLE и с ними), было достаточно напряженности электрического поля и времени для ускорения протонов (до >100 МэВ и >450 МэВ). В противном случае во вспышках не было достаточного времени и/или напряженности поля для ускорения видимых протонов до >30 МэВ. Эруптивные вспышки (протонные и не протонные) можно классифицировать по напряженности электрического поля (по времени ускорения электронов до 100 кэВ и моменту прихода первых протонов) и длительности наблюдения излучения электронов выше 100 кэВ (времени доступному для ускорения протонов >100 МэВ).

[1] Струминский А.Б., Зимовец И.В.// Изв РАН. Сер. Физ., 2009, т.73, с.332

[2] Струминский А.Б., Садовский А.М., Григорьева И.Ю.// Письма в АЖ, 2023, т.49, с.806

**Результаты тестовых наблюдений прилимбовой
зоны Солнца на волне 3.5 см
на РТ-32 ИПА РАН**

*Топчило Н.А.¹, Рахимов И.А.², Андреева Т.С.³,
Петерова Н.Г.⁴*

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

²ИПА РАН, С.-Петербург, e-mail: rahimov@iaaras.ru

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

⁴САО РАН, С.-Петербург, e-mail: peterova@yandex.ru

В радиодиапазоне, как и в оптике, лимбовые наблюдения играют важную роль, поскольку позволяют достаточно легко определить высотную структуру наблюдаемых объектов. Однако, как и в оптике, наличие близко расположенного яркого источника, в данном случае спокойного Солнца, сильно затрудняет наблюдения более слабых объектов.

Для исследования прилимбовой зоны Солнца в 80-е годы по наблюдениям РТ-22 ФИАН были разработаны и опробованы специальные методы, позволяющие минимизировать влияние спокойного Солнца, в первую очередь метод кругового сканирования.

В нашем докладе представлена адаптация этих методов к наблюдениям на радиотелескопе РТ-32 ИПА РАН на волне 3.5 см. Приведены результаты оценки ошибок выделения фона спокойного Солнца и точности измерения параметров прилимбовых источников различного типа (спокойные протуберанцы, СМЕ, арочные структуры и т.д.). Полученные результаты сопоставлены с синхронными наблюдениями на других инструментах и в других участках спектра.

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

Филатов Л.В.¹, Мельников В.Ф.²

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

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

Резонансное взаимодействие нетепловых электронов с волновой турбулентностью во вспышечной петле является эффективным механизмом ускорения и питч-углового рассеяния этих электронов. Такое взаимодействие рассматривалось нами для случая турбулентности вистлеров с заданным видом частотного спектра и пространственным распределением вдоль вспышечных петель (Filatov & Melnikov, Ge&Ae 2017, 2022, 2024). Предполагалось, что эти распределения стационарны во времени. Источником генерации вистлеровской турбулентности могут быть процессы, связанные с энерговыделением при вспышке. Эти процессы, так же, как и процесс ускорения электронов во вспышке должны быть нестационарными и эта нестационарность должна быть учтена при моделировании. В данном сообщении мы приводим результаты исследования более реалистичной нестационарной модели, в которой задаются характеристики (временной профиль, частотный спектр, локализация) источника турбулентности вистлеров, а не распределения самой турбулентности. Была решена самосогласованная система, состоящая из уравнения Фоккера-Планка для электронов и уравнения переноса для плотности энергии вистлеров. Исследованы нестационарные распределения нетепловых электронов по времени, длине магнитной петли, питч-углам и энергиям, а также частотные спектры и распределения самой турбулентности вистлеров. Полученные результаты могут быть использованы для интерпретации наблюдаемых спектров жесткого рентгеновского и микроволнового излучений и выбора модели турбулентности волн во вспышечной петле.

Полный электрический ток в активных областях с разным уровнем вспышечной продуктивности: статистический анализ

Фурсяк Ю.А.

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, 298409, п. Научный,
Республика Крым, Россия, e-mail: yuriy_fursyak@mail.ru*

Невозможность расчета величины полного электрического тока была обусловлена тем, что большинство инструментов для изучения Солнца получают данные о компонентах вектора магнитного поля только на одном уровне в солнечной атмосфере, в то время, как для вычисления одной из составляющих полного тока – горизонтального электрического тока – требуются данные о векторе магнитного поля как минимум на двух высотах. В 2017 году была предложена методика оценки модуля горизонтального электрического тока на основе данных о вертикальной составляющей вектора магнитного поля на одном уровне в атмосфере Солнца [1], что сделало возможным вычисление полного электрического тока.

Первые результаты исследования были представлены на конференции в Крымской астрофизической обсерватории в июле текущего года. Здесь выполнен статистический анализ. В исследовании использованы магнитографические данные инструмента HMI/SDO, [2]. Анализируемая выборка включает в себя 73 развития (с суммарным беззнаковым магнитным потоком порядка 10^{22} Мкс) активные области (АО) 24-го цикла солнечной активности. Для каждой АО анализируемой выборки с применением апробированных методик, вычислены абсолютные значения горизонтального, вертикального и полного электрического тока, построены карты пространственного распределения модуля полного тока в фотосфере, изучена его динамика за временной интервал мониторинга АО. Также построены графики, демонстрирующие зависимость вспышечной продуктивности АО от величин горизонтального, вертикального и полного электрического тока. В докладе представлены наиболее интересные результаты проведенного исследования.

[1] Fursyak Yu.A., Abramenko V.I. // *Astrophysics*, 2017, v. 60, p. 544.

[2] Scherrer P.H., Schou J., Bush R.I., et al. // *Solar Phys.*, 2012, v. 275, p. 207.

Кулоновские столкновения и ускорение заряженных частиц в солнечных вспышках

Цап Ю.Т.¹, Степанов А.В.², Копылова Ю.Г.²

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

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

Рассматриваются столкновения субтепловых электронов с протонами корональной плазмы. Показано, что использование приближения пробной частицы может приводить к переоценке силы электронного торможения из-за кулоновского взаимодействия. В случае сильного электрического поля, когда его значение меньше или порядка поля Драйсера, обосновывается необходимость учета изменения функции распределения электронов. Обсуждаются условия ускорения низкоэнергичных электронов и протонов в солнечных вспышках, а также следствия полученных результатов.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФ No.22-12-00308.

Субсекундные рентгеновские и радиовсплески излучения в солнечных вспышках

Шабалин А.Н., Чариков Ю.Е., Склярова Е.М.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

Солнечные вспышки, являясь одними из самых мощных проявлений солнечной активности, до сих пор хранят множество загадок относительно точных механизмов энерговыделения и ускорения частиц. Тонкая временная структура рентгеновского и радиоизлучения вспышек в виде субсекундных всплесков, или спайков, предоставляет уникальную возможность для изучения элементарных процессов во вспышечной плазме и разработки новых методов диагностики ее параметров. В рамках исследования был проведен анализ рентгеновских и радио спайков (субсекундных всплесков излучения) в предвспышечной и взрывной фазах солнечных вспышек с целью разработки методов диагностики параметров вспышечной плазмы на ранних стадиях вспышек. Работа включала анализ данных наблюдений с космических аппаратов (RHESSI, FERMI, BATSE, Yohkoh) и наземных радиотелескопов (NoRH, NoRP), разработку численной модели генерации спайков и сопоставление результатов наблюдений и моделирования. Были изучены временные, спектральные и пространственные характеристики спайков в ряде вспышек. Исследована связь между рентгеновскими и радио спайками, а также их корреляции с другими проявлениями вспышечной активности. На основе полученных результатов разработаны диагностические методы для определения параметров вспышечной плазмы и характеристик ускоренных электронов по наблюдаемым свойствам спайков.

III. Гелиосейсмология

Предвспышечные флуктуации радиоизлучения Солнца по наблюдениям на RSTN и NoRH

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

¹ ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: beam@gaoran.ru

² НИУ ВШЭ, Нижний Новгород, e-mail: rinbak@mail.ru

Проанализирован ряд вспышечных событий на Солнце по данным многочастотных наблюдений сети радиотелескопов RSTN. Некоторые события, наблюдавшиеся на станции RSTN Лирмонт, сопоставлены с данными наблюдений на радиогелиографе Нобеяма. Целью анализа было выявление предвестников солнечных вспышек. Во всех рассмотренных случаях выявлены предвспышечные квазипериодические флуктуации (КПФ) радиоизлучения. Длительность предвспышечных цугов составляет 6–20 минут. Цуги состоят из 3–5 импульсов. КПФ на более низких частотах (200–600 МГц) начинаются позднее, чем на высоких частотах, на 2–6 минут. КПФ на частотах 2695–8800 МГц происходят практически синхронно. Наибольшая амплитуда КПФ наблюдается на частоте 4995 МГц. Наблюдаемые КПФ могут быть объяснены моделью бесилового магнитного жгута [1]. Согласно этой модели, перед вспышкой, во время которой происходит выделение большого количества энергии во всем объеме магнитной петли, несколько раз может возникать плазменная неустойчивость в узком слое. Из-за малого объема этого слоя каждый раз выделяется небольшое количество энергии, которое оказывается заметным только в радиодиапазоне. Это и проявляется как повторяющиеся радиовсплески перед вспышкой.

[1] Solov'ev A.A., Kirichek E.A. // Astronomy Letters, 2023, v. 49, p. 257.

Структура, масштабы и динамика течений в конвективной зоне Солнца

Гетлинг А.В.

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

Трудно сомневаться в том, что конвекция играет принципиально важную роль в формировании и структурировании солнечных магнитных полей, а следовательно, управляет всем комплексом активных явлений. В докладе обсуждается разномасштабная организация течений в конвективной зоне Солнца и вариации этих течений в ходе 11-летнего солнечного цикла. Рассматриваются результаты применения различных методов, включая технику пространственно-временной гелиосейсмологии, к исследованию самой крупномасштабной составляющей солнечной конвекции — гигантских ячеек.

Другим важнейшим классом течений в конвективной зоне являются глобальные течения — дифференциальное вращение и меридиональная циркуляция, которые, как предполагается, играют существенную роль в работе солнечного динамо. Их вариации в 11-летнем цикле наводят на мысль об обратном воздействии магнитных полей на глобальные течения.

Часть представляемых результатов была получена в сотрудничестве с А.Г. Косовичевым [1], О.В. Щерицей и О.С. Мажоровой [2].

- [1] Getling A.V., Kosovichev A.G. // *Astrophys. J.*, 2022, v. 937, id. 41.
- [2] Shcheritsa O.V., Getling A.V., Mazhorova O.S. // *Physics Letters A*, 2018, v. 382, p. 639.

Радиальные колебания изогнутых корональных петель с переменным сечением

Лопин И.П.

*Институт прикладной астрономии РАН, С.-Петербург,
e-mail: lopin78@mail.ru*

В современной физике Солнца большой интерес представляют исследования квази-периодических пульсаций излучения плазмы в солнечных вспышках. Одним из базовых сценариев в интерпретации данного явления рассматривается эффект моделирования параметров плазмы и магнитного поля магнитогидродинамическими колебаниями вспышечных и послевспышечных корональных петель. В частности, одна из основных рассматриваемых МГД волн — так называемая глобальная радиальная мода, приводящая к пульсациям в поперечном сечении петли. С этих позиций представляет интерес рассмотрение теории данных колебаний в искривленных магнитных структурах, с переменным сечением, моделирующих особенности вспышечных корональных петель. В данной работе исследуется глобальная радиальная мода колебаний для модели петли в виде искривленного магнитного слоя, с поперечным сечением, увеличивающимся от оснований к апексу и встроенного в потенциальное магнитное поле солнечной короны. Получено дисперсионное соотношение для радиальной моды, которое позволило рассмотреть характеристики колебаний в зависимости от параметров петли. Проведено сравнение полученных результатов с известными характеристиками радиальных колебаний для модели прямого магнитного слоя с постоянным сечением.

IV. Солнечный ветер и космическая погода

**Исследование временных параметров
межпланетных возмущений, содержащих
магнитные облака**

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

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

Исследованы времена регистрации экстремальных значений основных параметров межпланетной среды, вариаций космических лучей и геомагнитной активности при прохождении мимо Земли корональных выбросов массы (КВМ), содержащих структуру магнитного облака (МО). Рассматривались следующие части межпланетных возмущений (МВ): (I) от начала МВ и до начала МО, (II) внутри МО, (III) от окончания МО до окончания МВ. Показано, в каких частях МВ чаще регистрируются экстремумы скорости солнечного ветра, межпланетного магнитного поля, плотности и анизотропии космических лучей, а также индексов геомагнитной активности. Отдельно рассмотрены МВ с МО от разных солнечных источников: КВМ из и вне активных областей.

**Оценка воздействия различных типов
возмущений солнечного ветра на рост
геомагнитно-индуцированных токов в линиях
электропередач за 11 лет наблюдений**

***Белаховский В.Б.^{1,2}, Пилипенко В.А.³, Сахаров Я.А.¹,
Селиванов В.Н.⁴***

¹*Полярный геофизический институт, г. Апатиты*

²*Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск*

³*Институт физики Земли РАН, г. Москва*

⁴*Центр физико-технических проблем энергетики Севера ФИЦ КНЦ
РАН, г. Апатиты*

В работе проанализированы случаи с экстремальными значениями геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ) в линиях электропередач (ЛЭП) на Кольском полуострове и в Карелии за 11 лет наблюдений (2012-2022 г.г.). Система регистрации ГИТ создана Полярным геофизическим институтом и Центром физико-технических проблем энергетики Севера ФИЦ КНЦ РАН и включает в себя 5 станций. Регистрация ГИТ ведется непрерывно с конца 2011 года, и к 2022 году сформировался “квазисолнечный цикл” регистрации ГИТ, включающий в себя 24-25 циклы солнечной активности. В работе рассмотрен вопрос о том, во время каких типов магнитных бурь (СМЕ или CIR) чаще наблюдаются экстремальные скачки ГИТ. Для характеристики типов солнечного ветра и отбора типа магнитной бури использовалась база данных Института космических исследований РАН, составленная группой Ермолаева Ю.И. [<http://www.iki.rssi.ru/pub/omni>]. При анализе событий рассматривались данные по регистрации ГИТ с авроральной станции Выходной (VKH) и субавроральной станции Кондопога (KND). Были отобрано 93 случая по данным станции VKH, когда величина ГИТ превышала 30 А. Показано, что 46 экстремальных скачков ГИТ (~49.5%) были вызваны СМЕ магнитными бурями, 41 событие (~44.1%) происходило во время CIR магнитных бурь и 6 событий (~6.4%) происходило без магнитных бурь. При этом наблюдается связь появления экстремальных скачков ГИТ с циклом солнечной активности. Так, в 2019, 2020 годах, в годы минимума солнечной активности, экстремальных случаев не было зафиксировано. По данным станции KND отобрано 31 событие, когда величина ГИТ превышала 5 А. Во время СМЕ бурь наблюдалось 24 экстремальных случая, (~77.4%), во время CIR магнитных бурь было зарегистрировано 6 экстремальных случаев (~19.4%), 1 случай был зарегистрирован без магнитной бури (~3.2%). Таким образом, при прогнозе воздействия космической погоды на технологические системы нужно учитывать не только корональные выбросы массы и создаваемые ими СМЕ бури, но высокоскоростные потоки солнечного ветра из корональных дыр и создаваемые ими CIR магнитные бури.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-77-10012.

Моделирование упругих и не упругих взаимодействий КЛ в пакете GT

Галикян Н.Г.¹, Голубков В.С.², Дягилев А.Р.¹,
Майоров А.Г.¹, Юлбарисов Р.Ф.¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”,
Москва, e-mail: norayrgalikyan@gmail.com

²НПП “Радар ммс”, Россия, Москва

Частицы космических лучей (КЛ), помимо взаимодействий с электромагнитными полями, испытывают энергетические потери вследствие излучения. Кроме того, они подвержены ядерным распадам и взаимодействию со средой. Последние играют ключевую роль в формировании атмосферных ливней, наблюдаемых наземными детекторами и нейтронными мониторами. При прохождении через гелиосферу КЛ также взаимодействуют с солнечным ветром, что приводит к адиабатическим потерям энергии. Эти потери становятся основным процессом солнечной модуляции в нижней части спектра КЛ, при энергиях ниже 500 МэВ [1].

Пакет GT был интегрирован с Geant4 [2] для расчёта ядерных распадов и взаимодействий. GT позволяет генерировать поколения частиц и отслеживать их эволюцию. Кроме того, GT учитывает синхротронные потери частиц и рассчитывает спектры получаемых фотонов. Данная методика даёт возможность детально изучать магнитное поле и характеристики КЛ в Галактике [3]. В модели гелиосферы в GT реализован расчёт адиабатических потерь по уравнению Фоккера-Планка [4]. Наряду с дрейфом, диффузией и конвекцией, в GT учитываются все компоненты уравнения переноса КЛ в гелиосфере, что позволяет оценивать эффективность каждого из процессов.

- [1] Engelbrecht N. E. et al. // Space. Sci. Rev., 2022, v. 218, p. 33.
- [2] Agostinelli S. et al. // Nucl. Instrum. Meth. A, 2003, v. 506, p. 250-303.
- [3] Strong A. W., Orlando E., Jaffe T. R. // Astronomy & Astrophysics. 2011, v. 534. p. A54.
- [4] Parker E. N. // Planet. Space. Sci., 1965, v. 13, p. 9-49.

**К измерению параметра электромагнитной
добротности потока горячей бесстолкновительной
плазмы, управляющего перестройкой
крупномасштабных электронных
магнитосферных структур**

Губченко В.М.

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

Электронные кинетические диссипативные процессы в горячей бесстолкновительной плазме это основа формирования и перестройки индукционных токовых систем (ТС), создающих крупномасштабную структуру магнитосфер — состояние магнитный хвост или состояние диполизации. При изменении состояний меняются интегральные энергетические характеристики, выражаемые импедансом Z . Возбуждение состояний ТС обусловлено индукционным взаимодействием электронной компоненты внешнего потока плазмы, характеризуемого заданной ФРЧ с источниками сторонней намагниченности — магнитным диполем. Состояния определяются предельным значением безразмерного параметра электромагнитной добротности G_V — соотношением резистивного и диамагнитных масштабов пространственной дисперсии потока плазмы. Параметр электромагнитной добротности G_V может принимать широкий диапазон значений и вычисляется на основе измерения форм внешней ФРЧ, характеризуемой параметрами анизотропии и асимметрии. Непосредственное измерение параметра G_V на основе измерения форм ФРЧ электронов неэффективно. В работе развивается метод измерения добротности на основе измерения импедансных Z характеристик отдельной идеальной рамки, характеризуемой простыми форм факторами. Z параметры функционально зависят от искомой добротности G_V . Обсуждается возможность синтеза оптимальной измерительной системы на основе решетки рамок. Кинетический параметр G_V характеризует космическую погоду.

Работа выполнена в рамках Государственного задания № FFUF-2023-0002 и Проекта № 10 Национального центра физики и математики (НЦФМ) «Экспериментальная лабораторная астрофизика и геофизика».

- [1] В.М. Губченко, Труды «ССЗФ -2023», <https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-75-80>

**Отклик жесткости геомагнитного обрезания
космических лучей на изменения параметров
солнечного ветра и геомагнитной активности
во время бури 23–24 марта 2023 г.**

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

СПбФИЗМИРАН, Санкт Петербург

Мы исследовали корреляционные связи между жесткостями геомагнитного обрезания космических лучей и параметрами межпланетного пространства и геомагнитной активности во время сильной магнитной бури 23-24 марта 2023 г. Жесткости геомагнитного обрезания вычислялись с помощью расчета траекторий частиц в магнитном поле магнитосферы по модели Цыганенко TS01. Анализ показал, что жесткость обрезания контролируется в основном изменениями индекса геомагнитной активности Dst (коэффициент корреляции $k \approx 0.95$) а также электромагнитными параметрами: полное межпланетное магнитное поле B , компонента B_z , компонента электрического поля E_y и параметр β плазмы ($|k| \approx 0.65 - 0.75$). Динамические параметры солнечного ветра V , N , P мало влияют на динамику жесткости геомагнитного обрезания во время эволюции бури ($|k| \approx 0.45$).

Полярные суббури в периоды низкой скорости солнечного ветра

Дэспирак И.В., Клейменова Н.Г., Любчик А.А., Сецко П.В.,
Малышева Л.М.

ПГИ, Анатиты

«Суббури на сжатом овале» или «полярные суббури» — это вечерние суббури, наблюдаемые на геомагнитных широтах выше 70° MLAT на данном меридиане. Известно, что экваториальная граница сжатого аврорального овала расположена выше 66° MLAT, т.е. для сети наземных магнитометров IMAGE она находится в океане между последними наземными станциями NOR (Nordkapp), SOR (Sørøya) и островной станцией BJN (Bear Island). «Полярными» суббурями мы считаем такие суббури, которые наблюдаются на геомагнитных широтах выше станции BJN, при отсутствии одновременных или предшествующих им суббуревых возмущений на авроральных широтах. Целью нашей работы является изучение «полярных» суббурь, зарегистрированных в интервалы очень низкой скорости солнечного ветра ($V < 300$ км/с). Было отобрано ~ 20 событий, зарегистрированных на скандинавской цепочке магнитометров IMAGE в 2010-2020 гг. для случаев низкой скорости солнечного ветра. Распределение ионосферных электроджетов и продольные токи (FAC) изучались по данным спутников AMPERE. Было показано, что эти события представляли собой небольшие «типичные» полярные суббури, не сопровождавшиеся другой суббуревой активностью на ночной стороне. Однако при других условиях солнечного ветра, «полярные» суббури — это высокоширотная часть движущегося на запад изгиба (WTS) ночной авроральной суббури

**О подходах к моделированию вариаций
интенсивности ГКЛ, связанных
с коротяирующими областями взаимодействия
солнечного ветра**

Калинин М.С., Крайнев М.Б.

Физический институт РАН, Москва, Россия

В интенсивности ГКЛ проявляется сильная долготная зависимость гелиосферных характеристик, обусловленная коротяирующими областями взаимодействия (КОВ) разноросорстных потоков солнечного ветра, приводящая к т. н. 27-дневной вариации интенсивности ГКЛ. Кроме того, обусловленное КОВ изменение крупномасштабных характеристик гелиосферы влияет на долговременную вариацию интенсивности ГКЛ. Для моделирования явлений в интенсивности ГКЛ, обусловленных КОВ, используются результаты МГД-моделирования характеристик гелиосферы, важных для распространения ГКЛ. При этом для решения уравнения модуляции ГКЛ обычно используется метод Монте-Карло, однако численное решение этого уравнения методами конечных разностей тоже возможно.

В докладе обсуждаются преимущества и недостатки обоих подходов и исследуются пути реализации решения уравнения модуляции ГКЛ для гелиосферы с КОВ методами конечных разностей.

Высокоширотные токовые слои в полярной гелиосфере и эффект их коротации с источником внутри корональной дыры

Кислов Р.А.

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Россия, Москва, Троицк 108841, e-mail: kr-rk@bk.ru

Высокоширотные конические токовые слои были обнаружены по данным Ulysses в 2017 году [1]. Они наблюдались во время минимумов солнечной активности в 1994 и в 2007 годах во время пролётов аппарата над полюсами. Высокоширотные токовые слои выступали в роли границ регионов, выделяющихся на фоне окружающей плазмы пониженной более чем на 100 км/с скоростью солнечного ветра и противоположной полярностью магнитного поля. Эти регионы имеют форму узких конусов с углом раствора около 2 градусов. Конусы наклонены по отношению к оси вращения Солнца и вращаются вокруг неё с периодом, близким к Кэррингтоновскому.

В данном исследовании представлена усовершенствованная МГД модель полярных конических токовых слоёв. Новая модель является двумерной и применима на разных гелиоцентрических расстояниях, позволяя описать форму конического токового слоя. Исследовано влияние температуры и угловой скорости собственного вращения структуры на центральный максимум плотности плазмы вблизи её оси. Объяснён механизм коротации конического токового слоя как целого и его источника на Солнце.

- [1] Khabarova, O.V.; Malova, H.V.; Kislov, R.A.; Zelenyi, L.M.; Obridko, V.N.; Kharshiladze, A.F.; Tokumaru, M.; Sokół, J.M.; Grzedzielski, S.; Fujiki, K. High-Latitude Conic Current Sheets in the Solar Wind. The Astrophysical Journal, 836, 108, 2017. doi: 10.3847/1538-4357/836/1/108

Онлайн-сервис космической погоды SunGazers

Сапралиев М.Е., Михальев О.Н., Михальев Б.Б.

*Калмыцкий Государственный университет имени Б.Б. Городовикова,
Элиста, e-mail: m.sapraliev@kalmsu.ru*

В работе предпринята попытка разработки онлайн-сервиса для специалистов и любителей, интересующихся проблемой прогноза космической погоды. В основу взята схема существующего сервиса Observe the Sun, разработанного сотрудниками Кисловодской горной астрономической станции. Интерфейс SunGazers дает трехмерное изображение солнечной поверхности и коронального магнитного поля до поверхности источника. Сервис позволяет выбрать дату наблюдения и нужный ракурс. На фотосфере показываются области открытого магнитного поля, на привязанных к ним панелях даются параметры: площадь, полный магнитный поток, среднее и максимальное значения индукции. На отдельных панелях можно просматривать карты магнитного поля на фотосфере, на поверхности источника, карты скоростей солнечного ветра на поверхности источника. Исходными данными служат наблюдения Кисловодской горной астрономической станции. Расчет коронального поля до поверхности источника производится с помощью известной библиотеки pfsspy[1]. Модель поля скоростей представляет собой вариацию WSA[2]. Планируется осуществить моделирование потока солнечного ветра на расстояние до 1 а.е. и провести оценки его геоэффективности.

Проект разрабатывается в научной лаборатории «Физика Солнца» КалмГУ по госзаданию Минорбнауки РФ (№075-03-2024-113 «Разработка новых наблюдательных и теоретических подходов в прогнозе космической погоды по данным наземных наблюдений»).

- [1] Stansby et al. // JOSS, 2020, v. 5(54), p.2732
- [2] Belov A.V., Obridko V.N., Shelting B.D. // Geomagn. Aeron., 2006, v. 46(4), p. 456

Перспективная научная станция в горных районах арктической зоны РФ

Сирук С.А., Лагойда И.А., Майоров А.Г., Юлбарисов Р.Ф.

НИЯУ МИФИ, Москва, e-mail: sstepana001@mail.ru

Явления, известные как ground-level enhancement (GLE), давно вызывают интерес у ученых. Вблизи геомагнитных полюсов минимальная энергия, которой должна обладать частица космических лучей (КЛ), чтобы быть зарегистрированной наземной установкой, определяется толщиной атмосферы над детектором. Таким образом, приборы, расположенные в полярной области и на большой высоте, оказываются наиболее чувствительными к изменению потока КЛ [1]. На протяжении долгого времени единственным таким нейтронным монитором (НМ) являлся SOPO, однако после запуска НМ DOMC особенно слабое событие GLE, зарегистрированное лишь этими двумя антарктическими станциями, заставило научное сообщество пересмотреть определение GLE и ввести новый тип событий — sub-GLE [2]. Позднее были обнаружены еще два подобных явления, наблюдавшихся в 1968–1969 гг., когда одновременно с SOPO работал НМ, расположенный на станции Восток [3].

Наличие лишь двух НМ, способных регистрировать sub-GLE, не позволяет восстанавливать характеристики этих событий с желаемой точностью. Кроме того, обе эти станции располагаются в южном полушарии Земли, а большинство космофизических экспериментов, работающих в настоящее время, не чувствительно к потокам протонов с энергией 200–400 МэВ, характерной для sub-GLE [4]. В арктической зоне РФ существуют горные районы, условия для наблюдения КЛ в которых схожи с таковыми на поверхности антарктического ледяного щита. Работа посвящена поиску таких мест и изучению вопроса о целесообразности и возможности строительства в одном из них новой станции, позволяющей регистрировать КЛ и отслеживать состояние атмосферы.

- [1] Mishev A.L., Poluianov S.V // Solar Physics, 2021, v. 296, p. 129
- [2] Poluianov S.V et al. // Solar Physics, 2017, v. 292, p. 176
- [3] Poluianov S.V et al. // Solar Physics, 2024, v. 299, p. 6
- [4] Mishev A.L. et al. // J. Space Weather Space Clim, 2017, v. 7, p. A28

Расчет эффективных энергий нейтронных мониторов с использованием результатов эксперимента AMS-02

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

НИЯУ МИФИ, Москва, e-mail: sstepana001@mail.ru

При работе с интегральными детекторами, такими как нейтронные мониторы (НМ), удобно пользоваться величинами, отображающими характерную энергию частиц, формирующих отклик прибора. Такими величинами могут служить медианная жесткость отклика, средняя энергия или эффективная энергия (ЭЭ), последняя из которых определяется так, что амплитуда вариаций темпа счета НМ равна амплитуде колебаний потока первичных частиц с данной энергией.

После запуска таких экспериментов, как PAMELA и AMS-02, осуществляющих прямые измерения дифференциального энергетического спектра галактических космических лучей (ГКЛ) с хорошим временным разрешением, появилась возможность проверить существующие оценки ЭЭНМ путем прямого сравнения соответствующих временных рядов. Такой анализ, проделанный в рамках данной работы, показал отличие экспериментальных значений ЭЭНМ от теоретических результатов, представленных в работе [1]. Для выяснения причин расхождения был проведен собственный расчет ЭЭ с использованием той же функции отклика НМ [2], но обновленных данных о форме спектра ГКЛ, их химическом и изотопном составе, а также разных подходов к описанию солнечной модуляции ГКЛ.

- [1] Asvestari E. et al. // J. of Geophysical Research (Space Physics), 2017, v. 122, p. 9790.
- [2] Mishev A.L. et al. // J. of Geophysical Research (Space Physics), 2020, v. 125, p. e27433.

Особенности внутренней структуры ICME

Хохлачев А.А., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г.,
Рязанцева М.О., Разманова Л.С.

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

Работа посвящена изучению внутренней структуры одного из крупномасштабных типов течений солнечного ветра — межпланетных проявлений выбросов корональной массы (ICME). Известно, что для этих событий характерно повышенное содержание ионов гелия в сравнении с другими типами течений. Существенный вклад в такое различие может давать обогащённый гелием электрический ток в центральной области ICME, существование которого было предположено в работе [1]. В результате статистического анализа поведения содержания гелия в ICME, проведённого в работе [2], были обнаружены некоторые косвенные доказательства существования этого тока. Целью данной работы является проверка гипотезы о токе при помощи метода минимума вариаций магнитного поля.

В ходе работы проводился анализ временных рядов параметров плазмы и межпланетного магнитного поля внутри ICME на основе данных двух источников: базы данных OMNI и измерений космического аппарата WIND. Моменты приближения космического аппарата к токовому слою, определённые методом минимума вариаций, сопоставлялись с временными вариациями содержания гелия. В результате анализа были обнаружены области вблизи токового слоя, для которых характерно повышенное содержание гелия. Существование таких структур внутри ICME согласуется с гипотезой о наличии электрического тока, обогащённого гелием.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда №22-12-00227.

- [1] Yermolaev Y.I. et al. Dynamics of large-scale solar-wind streams obtained by the double superposed epoch analysis. 4. Helium abundance. // JGR, 2020, v. 125(7), id. e2020JA027878.
- [2] Khokhlachev A.A. et al. Helium Abundance Decrease in ICMEs in 23–24 Solar Cycles. // Universe, 2022, v. 8(11), id. 557.

Распространение и взаимодействие корональных выбросов масс

Якунина Г.В.

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

Выбросы корональной массы (СМЕ) на Солнце взаимодействуют с различными структурами. Взаимодействие между СМЕ и магнитными полями в короне и межпланетном пространстве, а также солнечным ветром управляет распространением и эволюцией самого СМЕ. В работе кратко представлены результаты наблюдений взаимодействия СМЕ-СМЕ.

Взаимодействия СМЕ в межпланетном пространстве стали чаще наблюдаться после запуска обсерватории STEREO в 2006 году. Наблюдать СМЕ можно благодаря космическим аппаратам STEREO, SDO, SOHO, Hinode, ACE, Wind, Parker Solar Probe и Solar Orbiter. Процесс взаимодействия СМЕ довольно сложен. Продолжительность столкновения может превышать 10 часов. Взаимодействие СМЕ-СМЕ может привести к изменениям скорости и направления распространения СМЕ. Наблюдательные и численные исследования показали, что кинематические характеристики двух или более СМЕ могут значительно измениться после взаимодействия СМЕ. Взаимодействие СМЕ-СМЕ всегда связано со сложными явлениями, включая магнитное пересоединение, обмен импульсами, передачу энергии, изменения в расширении СМЕ. Сжатие одного СМЕ другим и распространение ударной волны внутри магнитного выброса могут приводить к экстремальным значениям южной составляющей магнитного поля и к наиболее интенсивным геомагнитным бурям.

Столкновения СМЕ оказывают влияние на космическую погоду. В 24 цикле солнечной активности увеличилась частота СМЕ по сравнению с 23 циклом, хотя частота быстрых и широких СМЕ снизилась. Количество интенсивных геомагнитных бурь в 24 цикле снизилось. В 23 цикле произошло 86 интенсивных геомагнитных бурь, а в 24 цикле всего 22 бури. СМЕ типа гало схожи между собой в 24 и 25 циклах солнечной активности, но отличаются от СМЕ 23 цикла. Более слабые циклы имеют низкое давление в гелиосфере, что позволяет СМЕ расширяться сильнее и повышается вероятность образования СМЕ типа гало. Изменение свойств СМЕ типа гало в солнечном цикле согласуется с методами прогнозирования циклов.

Наблюдения большого количества СМЕ на разных гелиоцентрических расстояниях от Солнца с помощью миссий Parker Solar Probe и Solar Orbiter может помочь в проверке моделей прогнозирования магнитного поля СМЕ. Понимание характеристик распространения СМЕ от Солнца к Земле является ключом к оценке их геоэффективного поведения. Чтобы лучше понять сложности, связанные с взаимодействующими СМЕ, необходимы новые модели и новые данные наблюдений.

V. Космический климат и климат Земли

Изменения параметра солнечной модуляции в голоцене и наклон геомагнитного диполя

Васильев С.С., Дергачёв В.А.

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

При расчете параметра солнечной модуляции (Φ) за последние тысячелетия обычно применяют соотношение между скоростью образования космогенных изотопов, дипольным моментом Земли и величиной Φ . Обычно в этих исследованиях используются космогенные изотопы ^{14}C и ^{10}Be . При изучении солнечной модуляции циклическое изменение наклона диполя обычно не принимается во внимание, что влияет на оценки прошлой солнечной активности. Годичные кольца деревьев являются надежной основой для получения радиоуглеродной шкалы времени (IntCal13). Однако определение концентрации ^{14}C в годичных кольцах деревьев является сложной задачей. Шкала времени, полученная из моделирования скорости образования ^{10}Be (GICC05), менее надежна. Тем не менее, существует способ объединить точность радиоуглеродной шкалы времени с надежностью оценок скорости образования ^{10}Be . Этот метод представляет собой синхронизацию серий радиоуглерода и бериллия-10. Мы выбрали наиболее современные методы расчета параметра солнечной модуляции Φ для голоцена. При расчете Φ использовались данные ^{10}Be , синхронизированные с данными ^{14}C . Рассмотрены последние данные о дипольном моменте Земли. При анализе Φ использовалось разложение по эмпирическим модам (EMD). Показано, что первые две моды разложения представляют собой колебательные компоненты с периодами 710 и 208 лет, амплитуды которых увеличиваются со временем, достигая максимума 2500 лет назад. Из рассмотрения следует, что 710-летние колебания, по-видимому, вызваны колебаниями наклона земного диполя. После исключения компонента EMD, связанного с 710-летней циклическостью, получен скорректированный ряд для параметра солнечной модуляции, свободный от влияния изменений наклона магнитного диполя. Скорость образования космогенных радионуклидов зависит от интенсивности проникновения галактических космических лучей (ГКЛ) в атмосферу Земли. Прежде чем достичь Земли, ГКЛ должны пересечь гелиосферу, где они подвергаются солнечной модуляции. Адекватный учет параметров солнечной модуляции важен для правильной интерпретации скорости образования космогенных изотопов и солнечной активности.

**Вариации атмосферных характеристик
в высокоширотной области северного полушария
во время солнечных протонных событий
января 2005 года**

Веретененко С.В.

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

Проведено исследование характеристик атмосферы северного полушария в ходе серии солнечных протонных событий 15–20 января 2005 года по данным архива MERRA-2 [1]. Показано, что исследуемые события сопровождались значительным возмущением высокоширотной средней атмосферы. Наибольшие изменения стратосферной циркуляции (резкое увеличение интенсивности стратосферного полярного вихря на изобарических уровнях от 100 до ~ 2 гПа) совпали по времени со значительным увеличением скорости ионизации в верхней стратосфере и мезосфере (более $1000 \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ выше 50 км). Мощное событие 20 января (Ground Level Enhancement), вызвавшее наибольшее увеличение ионизации на высотах 30–50 км, существенного влияния на развитие вихря не оказало. Интенсификация вихря, наблюдавшаяся в период 15–25 января, вызвала заметное понижение температуры в стратосфере (на ~ 10 К) в области широт выше 70°N . Дальнейшее резкое ослабление вихря в конце января способствовало началу внезапного стратосферного потепления минорного типа.

[1] Gelaro R. et al. // J. Clim., 2017, v. 30, p. 5419.

**Магнитный цикл Хейла в геофизических
характеристиках и траекториях
внетропических циклонов
в Северной Атлантике**

Веретененко С.В., Дмитриев П.Б.

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

Исследованы проявления солнечного магнитного цикла Хейла в различных геофизических и климатических характеристиках. Обнаружено, что наиболее значимые различия между временным ходом индексов геомагнитной активности, потоков галактических космических лучей (ГКЛ) и широты траекторий циклонов в Северной Атлантике в четных и нечетных 11-летних циклах наблюдаются на фазе спада цикла (со 2-го по 5-й год после максимума). Уровень геомагнитной активности оказывается заметно выше на фазе спада нечетных циклов по сравнению с четными, что проявляется в вариациях геомагнитного aa -индекса и повторяемости магнитных бурь с постепенным началом. Более высокие значения потоков ГКЛ в атмосфере Земли наблюдаются на фазе спада четных циклов. Также на фазе спада и в минимумах четных циклов имеет место статистически значимый сдвиг траекторий циклонов к северу относительно векового хода, что наиболее четко выражено в области Исландского минимума. Полученные результаты позволяют предположить, что бидекадные вариации, наблюдаемые в климатических характеристиках, обусловлены солнечным магнитным циклом Хейла, который способствует формированию бидекадных вариаций в потоках энергичных заряженных частиц (космических лучей и авроральных электронов), поступающих в атмосферу.

Проблемы и перспективы реконструкции 11-летних циклов солнечной активности по радиоуглероду

Волобуев Д.М.¹, Кудрявцев И.В.^{1,2}, Макаренко Н.Г.¹

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

² ФТИ им. Иоффе РАН, С.-Петербург,
e-mail: igor.koudriavtsev@mail.ioffe.ru

Кривая радиоуглеродного датирования с декадным шагом по времени известна уже более полувека и является основным, наиболее точным способом датирования археологических находок. Перекрытия паттернов толщин колец сохранившихся остатков деревьев позволят выстроить хронологию более чем за 10000 лет. Соответственно, ряд авторов реконструировали вековые вариации солнечной активности за период Голоцена.

Современные масс-спектрометры менее требовательны к количеству материала в образце, поэтому появляется все больше кривых датирования с годичным шагом по времени, длительностью уже до 1000 и более лет. Такие кривые, теоретически, должны отражать основные, 11-летние вариации солнечной активности. Тем не менее, амплитуда 11-летних вариаций в содержании радиоуглерода сравнима с ошибкой измерений, а путь атома радиоуглерода после его образования в атмосфере до попадания в кольцо дерева оказывается весьма запутан и подвержен ряду меняющихся факторов.

В данной работе мы обсуждаем возможные подходы к реконструкции 11-летних циклов солнечной активности по радиоуглероду и пути повышения их точности.

Мультидекадные вариации в солнечной активности и климате Земли

Демина И.М.

СПбФ ИЗМИРАН, Санкт-Петербург, e-mail: 1952,dim@izmiran.spb.ru

Активность Солнца подвержена квазипериодическим колебаниям, самый известный и стабильный из которых — это 11-летний цикл Швабе. Кроме того, широко изучены 22-летний цикл Хойла, ~100-летний цикл Глейсберга и ~200 летний цикл Зюсса. Менее изученным является диапазон периодов между циклом Хойла и циклом Глейсберга. Между тем, этот диапазон вариаций солнечной активности может иметь существенное значение для исследования солнечного влияния на климат Земли. Среди обсуждаемых квазициклическостей в различных метеорологических параметрах одной из наиболее известных является вариация с периодом 30-40 лет, так называемый цикл Брикнера, установленный еще в 19 в. Мультидекадные вариации являются характерной чертой некоторых атмосферных и океанических процессов. Целью данной работы было сравнительное изучение изменчивости солнечной активности и климата в диапазоне периодов 22-60 лет на временной шкале ~140 лет. Для этого использовался инструментальный ряд числа солнечных пятен (1880-2020 гг.), и данные о глобальных температурных аномалиях в климате Земли по инструментальным измерениям в 1880-2020 гг.

Нижняя ионосфера и земные тектонические процессы

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 докладе представлены предварительные результаты исследования влияния солнечных циклов на климат Земли в интервале VII–XX веков. Это сделано на основе анализа временных рядов годовых колец 165 иглолистных и широколистных древесных образцов, отобранных со всех обитаемых континентов. Данные получены из Международной базы данных годовых древесных колец. В большинстве исследуемых временных рядов явно выражены эффекты влияния 200-летнего солнечно-климатического цикла Де Врис/Зюсса и связанных с ним наиболее продолжительных минимумов Оорта, Вольфа, Шперера, Маундера и Дальтона XI, XIII–XIV, XV, XVII и XIX веков, соответственно, а также и векового цикла Глейсберга начала XX века. Это обстоятельство является индикатором планетарного эффекта их влияния на климат Земли. Влияние более коротких солнечно обусловленных циклов (20–22, 30–33, 60–65, 80–90 и 110–120 лет также уверенно и статистически значимо выявляется в большинстве исследуемых рядов. Однако это варьирует в зависимости от географического расположения мест полученных образцов по отношению к зонам глобальных гидрометеорологических явлений, долгосрочных колебаний режима атмосферной и океанической циркуляции и солнечной активности, а также от условий рельефа и состава почв.

Расчет жесткости геомагнитного обрезания с помощью трейсинга на основе метода Бунемана-Бориса

Кручинин П.А., Малахов В.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
Москва, e-mail: kruchinin_01@inbox.ru*

В докладе будет представлен метод определения жесткости геомагнитного обрезания (ЖГО), который основан на трассировке заряженных частиц в магнитном поле Земли путём решения уравнения движения методом частица-в-ячейке по схеме Бунемана-Бориса. Применяемый алгоритм, в отличие от широко используемого метода Рунге-Кутты, позволяет решать уравнения движения в магнитном поле с сохранением кинетической энергии, благодаря чему, метод оказывается более точным и быстрым.

С использованием разработанного метода построены карты ЖГО и их вариации для положительных частиц с разными магнитными жёсткостями. Тестирование разработанного метода расчёта ЖГО и оценка его точности основаны на сравнении с аналитическими значениями, с результатами предыдущих численных расчётов, а также воспроизведении известных эффектов. Так, расчёт геомагнитного обрезания проводился в поле идеального диполя, для которого существуют аналитические решения, а также была восстановлена картина полутени в моделях главного и внешнего магнитного поля Земли.

В модели дипольного поля построены угловые распределения относительных ошибок ЖГО и показано, что ошибка метода, т.е. отклонение расчётных и аналитических значений, для низких широт составляет не более 1%. В модели поля IGRF построены картины полутени геомагнитного обрезания, выделены основные особенности, по которым проводилась проверка метода. Получено совпадение с результатами работы Смарта и Ши с точностью 0.1 — 0.2 ГВ. Исследована стабильность полутени и показано, что основные особенности изменяются плавно, либо остаются постоянными. Также была восстановлена картина полутени в моделях главного и внешнего магнитного поля Земли (IGRF и Цыганенко 1989 года соответственно) и определено, что полутень занимает больший диапазон жесткостей, чем полутень в модели главного поля.

О возможной причине похолодания в первом тысячелетии до нашей эры

Кудрявцев И.В.

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

В настоящее время широко обсуждается вопрос о причинах изменения климата Земли. Хорошо изучены климатические изменения во втором тысячелетии нашей эры. К таким изменениям относится похолодание во время малого ледникового периода (МЛП). Во время этого периода, как известно, наблюдалась серия глобальных минимумов солнечной активности, что указывает на возможность того, что эти минимумы были причиной МЛП. Однако, изменение земного климата происходили и раньше. Так в первом тысячелетии до нашей эры наблюдалось похолодание примерно в 900- 300 годах до нашей эры, после чего наступил римский климатический оптимум. В окладе обсуждается возможность того, что это похолодание было вызвано понижением солнечной активности.

**Изменение климата Земли
в 13–15 тысячелетиях до нашей эры.
Возможная причина**

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

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

²*ГАО РАН, С.-Петербург*

³*ГУАП, С.-Петербург*

Как известно, максимум последнего глобального оледенения имел место приблизительно 19–27 тысяч лет назад, а тёплый период Голоцен наступил около 11700 лет назад. Таким образом, переход от глобального похолодания к межледниковому потеплению Голоцену занимал 7–8 тысяч лет. В этот переходный период повышение глобальной температуры происходило не монотонно – имели место смены периодов потеплений и похолоданий. В частности, к периодам потеплений относились Майендорфское и Алерёдское потепления. К периодам похолоданий – Древнейший, Древний и Поздний Дриасы. В последнее время получены свидетельства, что Поздний Дриасы мог быть вызван уменьшением активности Солнца. В докладе с использованием радиоуглеродных данных исследуется вопрос о том, могли Древнейший Дриас (14,8–12,8 гг до нашей эры) также быть результатом пониженной активности Солнца.

Климат Земли и квазидвухсотлетняя цикличность в вулканической активности.

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*

Несмотря на длительный период поиска солнечно-климатических связей, неоспоримых доказательств воздействия солнечной активности на климат Земли до сих пор не получено. Одной из причин подобного положения дел может служить наличие в климате Земли естественно-природных циклов с периодами близкими к солнечным, но при этом независимыми от активности Солнца и серьёзно искажающими солнечный эффект. Анализ четырёх палеореконструкций температуры Северного полушария Земли показал, что в них присутствует квази 200-летняя вариация, которая не коррелирует с соответствующим солнечным циклом Жюсса. Однако в двух реконструкциях квазидвухсотлетний цикл обнаруживает значимую ($p < 0.03$) корреляцию с соответствующей вариацией вулканической активности на протяжении последних 1200 лет. Причём 200-летняя вариация вулканической активности с циклом Жюсса не коррелирует. Это указывает на то, что одной из причин квазидвухсотлетней периодичности в температуре Северного полушария Земли могут служить колебания вулканической активности. Обсуждены физические механизмы влияния долговременных вариаций активности вулканов на климат.

Атмосферный ^3He как индикатор воздействия межзвездного газа на солнечную модуляцию

Остряков В.М.¹, Васильев Г.И.², Константинов А.Н.¹,
Павлов А.К.²

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого, Санкт-Петербург, e-mail: valery.ostryakov@mail.ioffe.ru

²ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург,
e-mail: gennadyivas@gmail.com

Взаимодействие гелиосферы с неоднородностями межзвездной среды может приводить к изменению уровня модуляции Галактических космических лучей независимо от активности Солнца. Сжатие гелиосферы должно увеличивать поток достигаемых земной атмосферы ядер из межзвездной среды. Изотопное отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ в межзвездной среде превышает это отношение в атмосфере на несколько порядков. Избыток ^3He должен проявиться в его содержании в кернах антарктического льда, что было обнаружено в керне у станции Восток. Время, датируемое этих повышений, совпадает со временем обнаруженных резких и быстрых возрастаниях содержания ^{14}C в кольцах деревьев. В ряде работ это возрастание интерпретируется солнечными супервспышками. Но наблюдения космического аппарата Kepler солнечноподобных звезд показывает, что частоты таких событий много более редки, чем частоты наблюдаемых событий возрастаний за последние 10-15 млн. лет по земным данным.

Перспективы зоны обитаемости в Солнечной системе, на планетах земного типа и ледяных экзопланетах

Рагульская М.В.

ИЗМИРАН, Москва

В настоящее время, наряду с активными и технически успешными поисками экзопланет земного типа, ледяные космические тела с внутренними океанами также активно изучаются в качестве перспективных мест существования внеземной биосферы. Внешние ледяные панцири на океанических мирах служат одновременно защитным барьером от суровых условий космоса и прекрасной средой для возможной обитаемости внутреннего океана. В «ледяной» модели формирования мира РНК предполагаются циклы протаивания и замерзания водяных линз и органического вещества на поверхности льда, например, при взаимодействии с потоком космической пыли. Основной задачей исследователей является выяснение физико-химических механизмов обмена веществом и энергией между закрытыми внутренними океанами, ледяной поверхностью и окружающим космическим пространством. В качестве основных механизмов взаимодействия рассматриваются процессы бомбардировки поверхности экзопланет космическими лучами и ультрафиолетовым излучением, а также бомбардировка ее метеоритами. Отмечается, что возможные биосферы ледяных миров с внутренними океанами лучше защищены от неблагоприятных внешних космических условий. Подледные биосферы слабо зависят от интенсивности излучения и вспышечной активности материнских звезд, а значит, развитие биосферы может происходить не только в системах с солнцеподобными звездами. Более того, такие биосферы могут существовать и развиваться не только на ледяных экзопланетах, но и на спутниках планет-гигантов, астероидах и планетах-сиротах, не привязанных к материнской звезде. В Солнечной системе зарегистрированная область космических тел, где под слоем водяного или метанового льда могут сохраняться океаны с возможной биосферой, в настоящее время значительно расширилась благодаря телескопу Джеймс Уэбб (например, карликовые планеты Эрида и Макемаке в поясе Койпера). Совокупность этих факторов существенно увеличивает вероятность возникновения внеземной жизни, поскольку количество космических тел во Вселенной с подходящими для возможной жизни подледными океанами значительно превышает более ограниченное количество планет с условиями, близкими к земным, в которых вода длительное время существует в открытом виде на поверхности космического тела.

- [1] Damiano M. et al. LHS 1140 b is a potentially habitable water world.// Cornell University Archive 2024 <https://arxiv.org/abs/2403.13265>

- [2] Grundy W.M. et al. Measurement of D/H and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios in methane ice on Eris and Makemake: Evidence for internal activity.// *Icarus*, 2024, V. 411, P. 115923. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2023.115923>
- [3] Vazan A., Sari R., Kessel R. A New Perspective on the Interiors of Ice-rich Planets: Ice-Rock Mixture Instead of Ice on Top of Rock // *The Astrophysical Journal*, 2022, 926, 150 DOI 10.3847/1538-4357/ac458c
- [4] Walton Craig R. et al. Cosmic dust fertilization of glacial prebiotic chemistry on early Earth.// 2024 *Nature Astronomy*, <https://doi.org/10.1038/s41550-024-02212-z>
- [5] Vilović I., Schulze-Makuch D., René Heller R. Observation of significant photosynthesis in garden cress and cyanobacteria under simulated illumination from a K dwarf star // *IJA*. 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2405.19180>

Особенности соотношений сезонного и годового облучения Земли в неоплейстоцене

Фёдоров В.М., Фролов Д.М.

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

По рассчитанным Ж.Ласкаром с коллегами (Laskar et al., 2011) данным эксцентриситета, наклона эклиптики и долготы перигелия в соответствие с методикой (Fedorov, Kostin, 2020) рассчитано сезонное и годовое облучение Земли в неоплейстоцене (от границы палеомагнитных эпох Брюнес / Матуйама до настоящего времени).

Определено, что годовое облучение Земли и полушарий, а также амплитуда сезонного облучения Земли определяется динамикой эксцентриситета земной орбиты. Коэффициент корреляции эксцентриситета и годового облучения Земли и полушарий равен 0,977. Коэффициент корреляции эксцентриситета и летнего облучения северного полушария составляет 0,954.

Выполнены расчеты среднего для сезонов облучения полушарий в фазы увеличения и уменьшения годового облучения Земли. В результате обнаружен эффект (прямой и обратный) разделения сезонного облучения по фазам годового облучения и рассчитаны его количественные характеристики. На основе обнаруженного эффекта фазового разделения сезонного облучения для полушарий выделены теплые и холодные солярные эпохи (СЭ) соответствующие фазам увеличения и уменьшения годовой интенсивности облучения (или эксцентриситета земной орбиты) и определен механизм влияния 100-тысячелетнего цикла на изменение солярного климата и природной среды в неоплейстоцене.

Изотопная и солярная геохронология и климатостратиграфия неоплейстоцена и голоцена

Фёдоров В.М.

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

На основе теоретических расчетов годового и сезонного облучения Земли и полушарий определена структура около 400-тысячелетнего цикла с различной амплитудой колебаний в стадиях цикла. Обнаружен прямой и обратный эффект разделения сезонной (летней и зимней) интенсивности облучения полушарий по фазам увеличения и уменьшения интенсивности годового облучения Земли. На основе разделения сезонного облучения по фазам увеличения и уменьшения годовой интенсивности облучения в неоплейстоцене определяются семь теплых и девять холодных эпох в солярном климате Земли, которые могут быть основой солярной геохронологии и климатостратиграфии неоплейстоцена. Показано, что структура солярных эпох для Северного полушария определяется чередованием теплых и холодных фаз летней интенсивности облучения определяемым климатической прецессией. Предложен инструментарий для солярной геохронологии и климатостратиграфии Северного полушария в неоплейстоцене. Инструментарий включает стадии около 400-тысячелетнего цикла изменения эксцентриситета и годовой интенсивности облучения Земли и полушарий, солярные эпохи, определяемые эффектом разделения сезонного облучения по фазам годового облучения Земли и фазы климатической прецессии, определяемые по отклонению от среднего для неоплейстоцена значению летней интенсивности облучения Северного полушария. На основе отмеченных периодичностей в изменении солярного климата Земли и полушарий построена схема солярной геохронологии и климатостратиграфии неоплейстоцена и голоцена для Северного полушария.

Мониторинг УФ-индекса в высокоширотной Арктике и Антарктиде

Шаповалов С.Н.¹, Рябинин И.О.², Соломатникова А.А.²,
Соколов В.Т.¹

¹ФГБУ «ААНИИ», Санкт-Петербург, Россия

²ФГБУ «ГГО», Санкт-Петербург, Россия

Всемирной организацией здравоохранения используется количественный показатель поступающего на земную поверхность солнечного излучения в диапазонах UVB 315–280 нм) — UVA (400–315 нм), т.н. УФ-индекс (UVI), который является мерой относительного повреждения кожи (www.who.int) и описывает интенсивность UV по отношению к фотобиологическому эффекту [WHO, Global Solar UV Index].

В 2023 г. измерения UVI были организованы на станциях ААНИИ в высокоширотной Арктике и Антарктиде. Первые результаты измерений показали, что UVI имеет отрицательную корреляцию с индексом CA W. Данная корреляция, очевидно, обусловлена уменьшением (увеличением) интегрального потока UVB при увеличении (уменьшении) пятнообразования на поверхности Солнца. Таким образом, уровень UVI, формируемый флуктуациями UVB-UVA за счет солнечной активности, является в некотором смысле его показателем. Так как годовые дозы суммарного UVB в разных регионах Земного шара имеют различную величину из-за различий метеорографических характеристик, следует вывод о неоднозначной связи годовых доз суммарного излучения UVB на Земном шаре с 11-летним циклом CA.

Фактор солнечной активности с высокой фотобиологической и фотохимической активностью

Шаповалов С.Н.¹, Чернышева М.П.²

¹ ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: shapovalov@aanii.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ),
Санкт-Петербург, Россия, e-mail: mp_chern@mail.ru

Эффективным фактором космической погоды, способным влиять на патогенную среду, является спектральное солнечное излучение на участке UVB (295–315 nm) — UVA (315–400 nm), для которого характерны временные изменения интенсивности, коррелирующие с вариациями среднего магнитного поля Солнца, а также циклом Швабе-Вольфа. По данным ВОЗ (www.who.int) и Solar Radiation and Climate Experiment (<https://lasp.colorado.edu/sorce/>) получены предварительные оценки корреляции крупномасштабных эпидемий с излучением UVB–UVA на линиях λ_{295} nm, λ_{305} nm, λ_{315} nm и λ_{325} nm за период 24 цикла солнечной активности. Максимальный коэффициент корреляции отмечается на линии λ_{315} nm ($r \sim 0.85$), которая является границей диапазонов UVB и UVA.

Выполнен анализ статистических данных по ВИЧ-позитивным (*HV-positive*) в Российской Федерации с индексом солнечной активности F10.7 cm за периоды 23 и 24 СА (1997–2019). Данные выбирались из территориальных центров по профилактике и борьбе со СПИДом и территориальных управлений Роспотребнадзора. После исключения линейного тренда, обусловленного тенденцией парентеральных контактов при употреблении наркотиков, получено соответствие максимумов *HV-positive* максимумам СА ($r \sim 0.8$). Сделан вывод о том, что излучение UVB–UVA является фактором с высокой фотобиологической и фотохимической активностью, а чувствительность различных вирусов к излучению на границе UVB/UVA является определяющим условием для начальной стадии интенсификации (или редукции) патогенной среды в планетарном масштабе.

Связь показаний пульса и артериального давления при их длительном мониторинге

Шибает И.Г.¹, Шибает А.И.²

¹ ИЗМИРАН, e-mail: ishib@izmiran.ru

² МГУ им. М.В. Ломоносова

Показания систолического артериального давления (САД), диастолического артериального давления (ДАД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС), взятые из дневника самоконтроля пациента (мужчина, 1940 г. рождения), служат основой исследования. Измерения проводились ежедневно дважды в сутки: утром, сразу после сна, и вечером перед ужином, что обеспечило однородность рядов. Ведение дневника пациентом с гипертоническим заболеванием и самоконтроль артериального давления позволяло эффективно подбирать гипотензивный препарат, который принимался утром. В первых публикациях [1, 2] даны общая оценка и анализ этих показаний более чем за 13 лет и отмечены отличия в характере поведения утренних и вечерних рядов:

- присутствие «лунной» компоненты только в утренних показаниях;
- четкое проявление «недельной» компоненты в вечерних рядах.

Более полный анализ данных за 17 лет представлен в работах [3, 4], где показана эффективность анализа таких функций, как корреляционные отношения и нормированное пульсовое давление, т.е. функций от двух регистрируемых параметров мониторинга. Подтверждена повышенная чувствительность организма к фоновому воздействию в утренние часы. Описан ряд ситуаций в которых группу показаний ЧСС с АД можно связать с поведением пациента или с проявлением внешних условий, хотя принято считать, что четкой функциональной связи между величинами АД и ЧСС нет. Динамика длиннопериодных компонент корреляционных отношений утро-вечер и их связь с числами Вольфа обсуждается в публикации [5].

Данная работа, используя кластерный анализ и метод главных компонент, продолжает анализ рядов САД, ДАД и ЧСС. Проводится классификация показаний и состояния организма.

- [1] Isaikina O., Yu. Kuksa, I. Shibaev. Analyses of Characteristics of Long-Term Monitoring of Arterial Pressure and Pulse / Journal of Environmental Science and Engineering, V. 1, № 9 (B), p.1064 – 1073, 2012.
- [2] Исайкина О.А., Кукса Ю.И., Шибает И.Г. Оценка характеристик длительного мониторинга артериального давления и пульса / Труды международной конференции «Влияние космической погоды на человека в космосе и на Земле» ИКИ РАН, 4-8 июня 2012 г. С. 695–707, 2013.
- [3] Isaikina O., Yu. Kuksa, I. Shibaev Estimation of Stability of Arterial Pressure and Pulse at Changes of Geomagnetic Data and Atmospheric

Pressure / Annual Research & Review in Biology 9(1): 1-11, 2016. DOI: 10.9734/ARRB/2016/21656

- [4] Kuksa Yu., Shibaev I., Isaikina O. Continuous monitoring of arterial blood pressure and pulse: comparison of morning and evening readings// Annual Research & Review in Biology, 30(2), 2019, 1-11. DOI: 10.9734/ARRB/2018/45798
- [5] Kuksa Yu, Shibaev I, Isaikina O. Long-Term Monitoring of Arterial Blood Pressure and Pulse: Assessment of Influence of External Factors on Readings // Chapter 7 In: Emerging Research in Medical Sciences, V. 2, 2019, 58-68. DOI: 10.9734/bpi/erms/v2

VI. Прогнозирование солнечной активности и её геоэффективных проявлений

Изменение климата на интервале 540 миллионов лет и прогнозы будущего изменения климата

Дергачёв В.А.

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

В современном мире проблема изменения климата Земли на длительной временной шкале занимает особое место. Следуя результатам палеоклиматических исследований далёкого прошлого, современный этап климатической истории Земли охватывает самый короткий Четвертичный геологический период, который начался 2,588 миллионов лет назад и продолжается в настоящее время. В этом геологическом периоде можно выделить циклы оледенений длительностью около 100 тысяч лет, за которыми следуют межледниковые циклы длительностью 10-15 тысяч лет каждое.

Окончание последнего ледникового цикла оценивается около 10-12 тысяч лет назад, но остаётся неопределённость о начале следующего ледникового цикла. Длительные потепления и похолодания многократно имели место в прошлом и должны повторяться в будущем. Для успешного прогнозирования будущих изменений климата необходима информация о состоянии окружающей среды на протяжённых временных интервалах.

В статье анализируется изменение климата с момента распространения сложных форм жизни на нашей планете, т.е. присутствия на Земле развитой растительной и животной жизни, что началось с примерно 542 миллиона лет назад (Фанерозойский эон). Возможно, причина для тёплого и длительного Голоцена состоит в том, что эффект влияния изменяющегося во времени расстояния Земли от Солнца, который сообщает многое о теории Миланковича, является только одним из факторов, которые являются важными в изменяющемся климате.

Большая изменчивость климата в Фанерозое характеризуется как чередования умеренно тёплых и холодных интервалов длительного периода. Представлены реконструкции температуры Фанерозоя, основанные на геологических и изотопных данных седиментологии и палеоэкологии.

Проведён анализ сценариев прогнозирующих будущий климат (температуру). Регистрируемое в настоящее время глобальное потепление в ряде статей относят за счет антропогенного влияния, игнорируя естественные факторы изменения климата, такие как тектонические волны, вулканическую активность, землетрясения, влияние океанов, которые активно участвуют в обмене газов с атмосферой, что в целом может приводить к внутренней изменчивости климата. Главной причиной наблюдаемых изменений климата на нашей планете, является не «человеческий фактор», а естественные механизмы саморегуляции климата планеты.

Восстановление карт полярности магнитного поля Солнца методами машинного обучения

Киселюс В., Илларионов Е.А.

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

Анализ солнечной активности играет важную роль в понимании процессов, происходящих на Солнце, и прогнозировании космической погоды. Один из методов исследования — построение карт крупномасштабного магнитного поля. Существуют различные подходы к восстановлению нейтральных линий, включая использование данных о положениях волокон (протуберанцев), отображающих фрагменты этой линии. Часто эта процедура выполняется вручную, что ведет к неоднозначным результатам. В нашем исследовании мы предлагаем нейросетевой метод для решения этой задачи.

Мы использовали полносвязную нейронную сеть для аппроксимации функции, нулевая линия которой соответствует нейтральной линии. Ключевым стало создание функции потерь, оптимизирующей обучение модели, учитывая множество факторов, влияющих на форму линии. При создании карт полярности магнитного поля Солнца, помимо данных о волокнах, используется много дополнительной информации, которую трудно формализовать. Мы учитываем это, позволяя модели принимать на вход не только данные о волокнах, но и предполагаемую полярность в ряде вспомогательных точек.

Для оценки эффективности модели мы использовали архив рукописных синоптических карт, составленных Патриком Макинтошем, включающий интересующие нас данные о положении волокон и картах полярностей. Эксперименты показали, что результаты, полученные нашей моделью, согласуются с данными архива Макинтоша.

Важно отметить, что наблюдения за солнечными волокнами начались задолго до систематических наблюдений магнитного поля Солнца. В этом контексте мы надеемся, что наш подход позволит в будущем создать однородный ряд данных о Солнце, представляющий интерес для исследования. Этот метод открывает новые возможности для автоматизации и повышения точности анализа солнечной активности, что имеет значение как для научных исследований, так и для практических целей, таких как прогнозирование космической погоды.

Оценка эффективности прогноза солнечных вспышек с использованием данных разных слоев атмосферы

Князева И.С.¹, Курочкин Е.А.^{1,2}, Лысов. И.И.¹,
Шендрик А.В.^{1,2}, Мырза И.М.

¹ Главная (Пулковская) обсерватория РАН, Санкт-Петербург,
e-mail: iknyazeva@gmail.com

² Санкт-Петербургское отделение САО РАН, Санкт-Петербург

Раннее прогнозирование солнечной активности является актуальной задачей в физике Солнца. Обычно она формулируется как предсказание вероятности наступления события (солнечной вспышки) определённого класса в заданный временной интервал в будущем, чаще всего в пределах следующих 24 часов. Кроме того, важным аспектом является прогнозирование общей вспышечной продуктивности для конкретной активной области.

Большинство современных систем прогнозирования вспышек основываются на данных, получаемых с фотосферы. При этом радиоастрономические данные, в частности полученные с РАТАН-600, обладают значительным потенциалом в задаче прогнозирования солнечной активности, так как позволяют фиксировать предвспышечную активность на более ранних стадиях по сравнению с оптическими инструментами.

Для оценки эффективности комбинированного прогноза нами были использованы две общедоступные статистические модели прогнозирования солнечных вспышек: система прогнозирования Solar Monitor [1, 2] основанная на данных Центра прогнозирования космической погоды NOAA, а также система прогнозирования Радиоастрономического центра солнечной активности [3]. Мы оценили эффективность прогнозов обеих систем на разных фазах 24 и 25 циклов солнечной активности, а также разработали и протестировали объединённую систему прогнозирования, учитывающую данные из обоих центров.

- [1] Gallagher, P.T. et al // Solar Physics, 2002, 209, 171
- [2] Bloomfield et al., // The Astrophysical Journal Letters, 2012, 747, L41
- [3] Bogod, V.M., et al. // Astrophysical Bulletin 2018. 73 (4), 478–486.

Источник над нейтральной линией в солнечной вспышке 23 марта 2024 года

Кудрявцева А.В.¹, Мышьяков И.И.¹, Анфиногентов А.С.¹,
Дашиинимаева С.А.²

¹Институт солнечно-земной физики, Иркутск,
e-mail: kudyavtseva@iszf.irk.ru

²Иркутский государственный университет, Иркутск

Источником над нейтральной линией (NLS) называют компактный источник микроволнового излучения, проецируемый в область нейтральной линии фотосферного магнитного поля, который часто наблюдается в структуре активной области перед мощными солнечными вспышками. Несмотря на то, что NLS были обнаружены еще в 1970-х г. (см, например, [1]), и в дальнейшем их связь со вспышками активно изучалась при помощи данных Радиогелиографа Нобейма, Сибирского солнечного радиотелескопа [2] и РАТАН-600 [3], природа таких микроволновых источников остается до конца неясной.

В докладе обсуждается роль NLS перед вспышкой рентгеновского класса X1.1 23 марта 2024 года. Уникальность данного события состоит в том, что были задействованы сразу две активные области NOAA 13614 и NOAA 13615, соединенные транс-экваториальной петлей. Для выявления присутствия в активной области NLS и его последующего анализа были использованы многоволновые двумерные данные Сибирского радиогелиографа в диапазоне 3-24 ГГц [4].

- [1] Kundu M.R., Alissandrakis C.E., Bregman J.D., Hin A.C. // *Astrophys. J.*, 1977, v. 213, p. 278.
- [2] Uralov A.M., Grechnev V.V., Rudenko G.V., Rudenko I.G., Nakajima H. // *Sol. Phys.*, 2008, v. 249, p. 315.
- [3] Abramov-Maximov V.E., Borovik V.N., Opeikina L.V., Tlatov A.G. // *Sol. Phys.*, 2015, v. 290, p. 53.
- [4] Алтынцев А.Т., Лесовой С.В., Глоба М.В. [и др.] // *Солнечно-земная физика*, 2020, Т. 1. № 2. p. 37.

Особенности прогнозирования вспышек в активных областях Солнца на микроволнах

Курочкин Е.А.¹, Петерова Н.Г.¹, Топчило Н.А.²,
Шендрик А.В.¹

¹СПбФ САО РАН, Санкт-Петербург, e-mail: 79046155404@yandex.ru

²СПб ГУ, С.-Петербург

При исследовании вспышек на Солнце в активных областях (АО) задачу прогнозирования можно разбить на два этапа: оценка запаса потенциальной запасенной энергии в АО, то есть потенциальная возможность АО быть вспышечно-продуктивной АО (ВПАО), и определение триггерного механизма, который эту запасенную в АО энергию высвободит. По первому этапу можно учитывать магнитный поток (как правило, связан с площадью пятен), количество пятен и групп пятен, числа Вольфа и пр. [1]. По второму этапу нужно понять насколько сложна структура магнитных полей как на фотосфере, так и в области короны Солнца. Для диагностики явлений в короне подходит микроволновый диапазон.

В микроволновом диапазоне существует ряд предвспышечных признаков: изменение спектрального индекса и формы спектра интенсивности, поляризационные инверсии по спектру [2], различные «особые» (NLS, PIL, пекулярные) источники, эволюционные признаки (уярчения и депрессии в спектрах), эволюция соотношения поток/размер АО, оценка величины коронального магнитного поля по сравнению с фотосферным.

В работе приводятся примеры АО и ВПАО, обладающими одним или несколькими из таких предвспышечных признаков на основе данных микроволновых наблюдений Солнца на РАТАН-600. Произведена краткая оценка эффективности прогнозирования вспышек в АО на ближайшие 1-3 дня [3].

- [1] Nagovitsyn Y.A., Georgieva K., // Geomagnetism and Aeronomy, 2017. 57 (7), 783-787.
- [2] Bogod V.M., Tokhchukova S.Kh. // Cosmic Research, 2006. 44 (6), 506.
- [3] Bogod V.M. et al. // Astrophysical bulletin, 2018. 73 (4), 478-486.

Создание интегральной обучающей базы для классификации вспышек методом машинного обучения

Ожередов В.А.¹, Струминский А.Б.¹, Григорьева И.Ю.²

¹*Институт космических исследований, Москва,
e-mail: ozheredov2016@gmail.com*

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

Солнечное протонное событие (SPE) это процесс ускорения в источнике и распространения до наблюдателя, которые мы не понимаем во всех деталях. Не существует чисто физической модели, позволяющей с удовлетворительной точностью предсказывать SEP на основе наблюдений. Ранее мы создали алгоритм предсказания SEP как гибрид физической концепции, изложенной в [1], и метода машинного обучения (Байесовского вывода). Тестируя этот алгоритм, мы обнаружили положительные срабатывания на вспышках, не вошедших в каталог протонных событий НИИЯФ [2], и поставили задачу проверить, являлись ли эти вспышки на самом деле «протонными». С этой целью мы обработали временной ряд [3], полученный с монитора радиационной обстановки Спектр-РГ, на предмет наличия «протонных» возрастаний. Оказалось, что характеристики вспышек, которые не входят в каталог НИИЯФ и на которых срабатывает наш алгоритм, имеют характерное распределение, предполагающее возможность построения машинного алгоритма предсказания величины и времени наступления максимума протонных возрастаний на различных энергиях.

[1] A.Struminsky, A.Sadovsky, I.Grigorieva. Criteria for Forecasting Proton Events by Real-Time Solar Observations. Geomagnetism and Aeronomy, 64(2), pp. 139-149. DOI:10.1134/S0016793223600984.

[2] swx.sinp.msu.ru

[3] monitor.srg.cosmos.ru

Прогноз протонных возрастных по данным солнечных вспышек и выбросов

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

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

Исследуются различные параметры рентгеновских солнечных вспышек и корональных выбросов массы, приведших или не приведших к регистрации у Земли возрастных потоков протонов различных энергий. На основе большого статистического материала, охватывающего 1995-2023 гг., составлен подробный каталог событий и получены средние значения и регрессионные зависимости различных величин. Оценены вероятности регистрации возрастных потоков протонов различных энергий у Земли, рассчитаны ожидаемые уровни таких возрастных. На основе полученных данных создана эмпирическая модель протонных событий, которая успешно применяется в ежедневной работе Центра прогнозов космической погоды ИЗМИРАН.

VII. Солнечно-звёздные аналогии, звёздные циклы активности

Фотометрия запятненного гиганта FK Com

Алексеев И.Ю., Козлова О.В., Бондарь Н.И.

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

Рассмотрено фотометрическое поведение запятненного одиночного быстровращающегося ($V \sin i = 160$ км/с) гиганта FK Com (G2 III) по многолетним фотографическим (1907 – 1988 годы) и многоцветным фотоэлектрическим и матричным (с 1966 года по настоящее время) наблюдениям. Общий фотометрический эффект, вызванный пятнами, доходит до $0.^m40$. Отмечается цикличность изменений блеска с характерными временами 26.7 и 7.45 лет. Проведенное нами моделирование показало, что площадь запятненных областей может доходить до 30 % полной поверхности звезды. Пятна холоднее невозмущенной фотосферы на 1300 К и располагаются в средних и высоких широтах.

Развитие пятен на поверхности полностью конвективной М звезды V639 Her

Бондарь Н.И., Антонюк К.А., Пить Н.В.

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

В астрометрической двойной М–М системе GJ 669 AB более слабым компонентом является полностью конвективная звезда V639 Her (M4.5 V). В проявлении ее активности отмечаются особенности, в том числе в радиодиапазоне, которые не наблюдаются у более яркой и более массивной звезды V647 Her (M3.5 V). Важным параметром в развитии активности звезд НГП является скорость их вращения. Скорость вращения V639 Her различается по разным данным. В июле–ноябре 2019 г. мы провели BVRI наблюдения звезды на 1.25 м телескопе АЗТ-11 Крымской астрофизической обсерватории. Периодограммный анализ полученных рядов методом Ломба–Скаргля показал, что период вращения звезды составляет 1.45 дней. С этим периодом наблюдается модуляция блеска, которая, согласно показателям цвета, обусловлена развитием холодных пятен на поверхности звезды. Согласно фазовым кривым блеска, распределение пятен сохранялось около 100 дней. В июле–августе запятнанная область наблюдалась на одном полушарии, а в сентябре–ноябре пятна были менее крупными и присутствовали на обоих полушариях. Значение полной амплитуды вращательной модуляции не превышало $0^m.1$. У звезды также наблюдалась вспышечная активность. В полосе В зарегистрировано 8 событий, превышающих уровень 3σ .

**К столетию обнаружения активности
звёзд аналогичной солнечной:
Звезда Герцшпрунга — DH Car**

Горбачев М.А., Шляпников А.А.

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

В докладе даётся краткая историческая справка об открытии DH Car – первой вспыхивающей звезды М класса, которая стала прототипом для исследования аналогичной солнечной активности у звёзд. Дан обзор публикаций по DH Car. Сообщается известная информация и идентификации звезды по базам данных и каталогам. Представлен наблюдаемый спектр DH Car в сравнении с теоретической моделью и отождествлением спектральных линий.

По наблюдениям, выполненным обсерваторией TESS, впервые найден период осевого вращения звезды. Сообщается об исследовании вспышечной активности DH Car. Представлена информация об энергии вспышек и продемонстрированы наиболее характерные из них.

Отдельно рассмотрены наблюдения области звезды в диапазонах рентгеновского и радиоизлучения.

Магнито-вспышечная активность красных карликов в Полярах

Ихсанов Н.Р.¹, Пустильник Л.А.², Бескровная Н.Г.¹

¹ ГАО РАН, С.-Петербург, Россия e-mail: nazar.ikhsanov@mail.ru

² Тель-Авивский университет, Израиль e-mail: levpust2149@gmail.com

Поляры представляют собой тесные двойные системы, состоящие из красного и белого карликов. По характеру своего оптического излучения они классифицируются как подкласс магнитных взрывных переменных звезд. Нестационарный характер их излучения обусловлен обменом массой между компонентами системы: газ с поверхности красного карлика перетекает, следуя силовым линиям магнитного поля белого карлика, на его поверхность в области магнитных полюсов. Излучение, генерируемое вследствие этого процесса, отличается высокой степенью поляризации и значительными вариациями интенсивности. В зависимости от темпа обмена массой между компонентами системы Поляры могут переходить между состояниями высокой и низкой светимости.

В своем докладе мы отмечаем, что в большинстве Поляров магнитное поле белого карлика препятствует как свободному течению вещества через точку Лагранжа L1, так и формированию баллистического аккреционного потока в полости Роша белого карлика [1], [2]. Обмен массой между компонентами системы в этом случае может происходить вследствие перезамыкания магнитного поля белого карлика с магнитными полями активных областей красного карлика, сопровождаемого формированием магнитных каналов между компонентами системы. По нашим оценкам такие каналы могут начинаться в верхней хромосфере красного карлика и заканчиваться на поверхности белого карлика. Переменность Поляров в этом случае оказывается отражением магнитной активности красного карлика, а сама двойная система может рассматриваться как естественная лаборатория для изучения магнитной активности звезд поздних спектральных классов.

[1] Ихсанов, Н.Р., Ким, В.Ю., Королькова О.А. // Известия ГАО РАН, 2023, № 228, с. 118.

[2] Бескровная Н.Г., Ихсанов Н.Р. // Научные Труды ИНАСАН, 2023, т. 8(5), с. 237.

Существует ли синхронизирующее воздействие планет на циклическую активность Солнца и звёзд?

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

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

Рассмотрен вопрос о том, насколько наличие планетной системы влияет на циклическую активность Солнца и других холодных звёзд. Мы продолжили поиск связи долговременной активности звёзд с их планетами. В частности, нами проанализированы не только уточнённые данные о рассмотренных ранее F, G и K звёздах с выявленными циклами, но и результаты анализа долговременной переменности 15 более холодных M карликов с экзопланетами. Если цикличность активности определяется сильным приливным воздействием планеты, то длительность цикла у звезды должна быть синхронизована с периодом орбитального обращения планеты. Мы рассчитали гравитационное воздействие планет на их родительские звезды. Подтверждается полученный нами ранее вывод о том, что экзопланеты не влияют на формирование звёздного цикла. Однако такое влияние может проявляться в регулярности цикла, вплоть до его исчезновения. Возможно, оно проявляет себя как внешнее воздействие, модулирующее амплитуду (высоту) цикла. Нами рассмотрено изменение положения барицентра Солнечной системы относительно центра Солнца на протяжении 420 лет. Сопоставление этих данных с наиболее достоверным 120-летним рядом числа солнечных пятен SSN- индекса солнечной активности позволяет убедиться в отсутствии их синхронизации.

Реконструкция и анализ микроволновых временных профилей вспышек Солнца как звезды

Мотык И.Д., Кашапова Л.К., Рожкова Д.В.

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

Временные профили как солнечных, так и звездных вспышек являются не только маркерами эволюции этих явлений, но и помогают выявить механизмы генерации излучения. Особый интерес представляет использование информации, полученной на примере солнечных вспышек, полученных для Солнца как звёзды для интерпретации наблюдений звездных событий. В настоящее время уже проведены исследования профилей Солнца как звезды или средних временных профилей для наблюдений, полученных в видимом и ультрафиолетовом диапазонах. Однако микроволновый диапазон, не смотря на его чувствительность к действию различных механизмов генерации излучения, пока остаётся вне активного изучения. В данной работе мы представляем результаты реконструкции временных профилей вспышек Солнца как звезды, полученные на основе наблюдений Сибирского Радиогелиографа. Для реконструкции было использовано более 100 событий, которые с одной стороны демонстрировали простое поведение, а с другой являлись широкополосными событиями. Последнее свойство было необходимо, чтобы выделить события с гиротронным механизмом микроволнового излучения, а также разделить излучение от оптически толстых и оптически тонких источников излучения. Обсуждаются свойства и характеристики полученного среднего профиля и возможность применения результатов для анализа солнечных и звездных вспышек.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-22-00315, <https://rscf.ru/project/24-22-00315/>.

Эволюция суммарной магнитной и кинетической энергии в конвективной зоне звезды

Кислов Р.А., Старченко С.В.

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

Знание об эволюции суммарной магнитной и кинетической энергии конвективной зоны звезды позволяет оценить глобальную динамику, устойчивость, величину и характерные времена для этих энергий. В данной работе рассмотрен энергетический баланс в конвективной зоне, в который входят удельные мощности сил Архимеда, диффузии, Ампера, а также уравнение эволюции магнитного поля, учитывающее магнитную вязкость. В качестве переменных выбраны среднеквадратические скорость и магнитное поле. Данная система дифференциальных уравнений является нелинейной. Были исследованы стационарные точки системы, их тип и устойчивость. Получены аналитические и численные решения для разных начальных условий. Показано, что имеется две стационарные точки — с нулевым магнитным полем, и ненулевым. Первая стационарная точка имеет тип устойчивого узла, если плавучесть преобладает над диффузией магнитного поля, в противном случае она имеет тип седла. Вторая точка в зависимости от соотношения между плавучестью и временами магнитной диффузии и диффузии скорости может быть устойчивым фокусом или узлом. В случае фокуса даже близкие к нулю начальные скорость и магнитное поле со временем достигают своих устойчивых значений. Если начальная скорость не равна нулю, а магнитное поле равно нулю, то реализуется решение без магнитного поля. Также играет роль направление средней скорости, которое учитывается в системе в виде знака перед произведением скорости и магнитного поля в уравнении диффузии магнитного поля. Если он соответствует случаю течения к ядру звезды, то магнитное поле стремится к нулю даже будучи в начальный момент большим. Получено что, вне зависимости от начальных условий, среднеквадратическое магнитное поле и скорость стремятся к ненулевым стационарным точкам. По отношению к начальным условиям это может выглядеть и как усиление, и как ослабление. Цикл звёздной активности не возникает при постоянных временах магнитной диффузии и диффузии скорости, а также постоянной плавучести.

Необычная спектральная активность запятненного гиганта KU Peg

Козлова О.В., Алексеев И.Ю.

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

Мы приводим данные высокодисперсионных ($R=20000$) наблюдений линий H_α , Na I D и He I 5876 Å, полученных в Крымской астрофизической обсерватории в 2019 – 2023 гг. Выбор спектральных областей не случаен и обусловлен тем, что резонансный дублет натрия у хромосферно-активных звезд чувствителен к прохождению холодных запятненных областей по диску звезды и часто дублирует изменение блеска. В то же время изменение линий H_α и He I 5876 обычно связано с хромосферными областями. В случае KU Peg была обнаружена очень необычная картина переменности, выходящая за рамки классической хромосферной активности. Мы связываем ее с присутствием у звезды горячего и плотного газа, параметры которого меняются с фазой вращения звезды.

Радиоизлучение ударной волны в окрестности экзопланеты HD 189733 b

Кузнецов А.А., Зайцев В.В.

ИПФ РАН, Нижний Новгород, e-mail: kuznetsov.alexey@ipfran.ru

В работе рассматривается возможность эффективной генерации радиоизлучения в области головной ударной волны экзопланет типа «горячий юпитер». В качестве источника пучка энергичных электронов предложен дрейфовый механизм ускорения на квазипоперечной ударной волне. Отраженные от ударной волны и ускоренные ею электроны распространяются в сравнительно плотной плазме звездного ветра и генерируют плазменные волны, поэтому плазменный механизм рассмотрен в качестве источника радиоволн. На примере головной ударной волны горячего юпитера HD 189733 b оценены параметры пучка энергичных электронов, плазменных волн и частота генерируемого радиоизлучения. Выполнена энергетическая оценка области параметров звездного ветра, для которой возможна регистрация радиоизлучения от головной ударной волны экзопланеты HD 189733 b современными астрономическими средствами.

Работа поддержана грантом РФФИ № 23-22-00014.

**Магнитная и кинетическая энергии
конвективной зоны звезд в зависимости
от их светимости, периода вращения и других
оцениваемых параметров**

Старченко С.В.

ИЗМИРАН, Москва, e-mail: sstarchenko@mail.ru

Уравнения момента и индукции проинтегрированы по объему конвективной зоны (КЗ), чтобы получить простейшую динамическую систему для магнитной и кинетической энергий всей КЗ.

Устойчивые стационарные точки этой системы определяют типичную кинетическую и магнитную энергию. В звездах подобных Солнцу эти энергии сравнимы (порядка 10^{32} Дж каждая) и прямо пропорциональны произведению удельной (деленной на массу КЗ) светимости и характерного времени магнитной диффузии, которое порядка величины периода вращения звезды. При этом характерное время устойчивого возврата к стационарным точкам имеет экспоненциальную и гармоническую составляющие, которые обе оказываются порядка периода вращения. Это обстоятельство должно отражаться в наблюдаемой динамике звездных пятен.

В звездах с существенно меньшим периодом вращения предсказывается доминирование магнитной энергии над кинетической энергией, а времена возврата короче периода вращения. Это может приводить к хаотизации и сбоям цикла вплоть до его полного отсутствия. Соответственно ожидается и большая вспышечная активность в таких быстро вращающихся звездах.

Звезды типа γ Cas: переменность оптического и рентгеновского излучения

Холтыгин А.Ф.¹, Рыспаева Е.Б.^{1,2}

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

²Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, Крым

Звезды типа γ Cas представляют собой малую группу Ве звезд с необычно жестким рентгеновским излучением и высокой рентгеновской светимостью $L_X \sim 10^{31}$ - 10^{33} эрг/с, что выше на 2-3 порядка, чем у типичных Ве звезд, но меньше, чем у массивных рентгеновских двойных систем с Ве компонентами. Эти звезды характеризуются также необычайно жестким сравнительно с обычными Ве звездами спектром. Представлены результаты анализа спектральной и фотометрической переменности звезд типа γ Cas как в оптической, так и в рентгеновской областях спектра. Установлено соответствие периодов регулярных компонентов оптической и рентгеновской переменности, что позволяет сделать вывод о существенном вкладе в полный рентгеновский спектр таких звезд излучения, формирующегося в результате взаимодействия локальных магнитных полей Ве звезд с магнитным полем ее декреционного диска. Рентгеновское излучение, образующее в результате пересоединения магнитных силовых линий имеет вспышечный характер. Для звезд BZ Cru и π Aqr в рентгеновских кривых блеска, полученных на спутнике ХММ, выделено несколько тысяч вспышечных событий. У звезд типа γ Cas HD 45314, HD 45995, NGC 6649 9 и V558 Lyr обнаружены регулярные изменения рентгеновской яркости с периодами 50–90 секунд, которые могут быть периодами вращения белых карликов в составе двойных Ве+WD систем. Предположено, что жесткая часть рентгеновского излучения звезд типа γ Cas генерируется за счет аккреции вещества диска на быстро вращающийся белый карлик.

Короткие циклы активности красных карликов по разным обзорам

Бондарь Н.И., Шляпников А.А.

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

Интерес к изучению циклической активности у звёзд малых масс и её зависимости от периода их вращения, обусловлен необходимостью понимания перспектив эволюции активности Солнца. Диаграммы период вращения — длина цикла активности показывают наличие двух последовательностей для активных и малоактивных звёзд, и то, что Солнце не принадлежит ни к одной из них, возможно, свидетельствует о переходном состоянии нашей звезды. Наряду с основной целью, анализируется наличие сверхкоротких циклов, аналогичных циклам типа Ригера, что позволяет оценить напряжённость магнитного поля динамо внутри звёзд. Рассмотрены краткий исторический обзор по поиску циклов активности красных карликов, исследования, выполненные авторами с коллегами, и современное состояние проблемы. Представлено сравнение коротких циклов активности красных карликов по разным обзорам. С запуском космических обсерваторий для поиска экзопланет (проекты CoRoT, Kepler и K2, TESS), появилась возможность с высоким временным разрешением анализировать кривые блеска не только по целевому назначению, но и производить поиск возможных циклов активности звёзд. К сожалению, продолжительность миссий составляла менее 6 лет, за исключением обсерватории TESS, запущенной в начале 2018 года. Используя четырёхлетние данные наблюдений обсерватории Kepler, были измерены циклические изменения амплитуд кривых блеска и периоды вращения у 3203 звёзд. Результаты этого исследования были проанализированы авторами доклада по наблюдениям из других каталогов и баз данных. Представлены критерии для отбора звёзд и сравнительный анализ циклов по данным обсерваторий Kepler, Gaia, ZTF. Сообщение проиллюстрировано временными рядами наблюдений, их фазовыми кривыми с периодами найденных циклов, статистическими данными по зависимостям циклов от основных параметров звёзд.

**Статистический анализ избранных звёзд
с активностью солнечного типа и поиск
радиоизлучения у звёзд нижней части
Главной последовательности**

Шляпников А.А.

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

Для обеспечения доступа к наиболее полному объёму данных о звёздах, описанных в книге «Physics of mid- and low-mass stars with solar-type activity and their impact on exoplanetary environments» [1] на основе её предметного указателя был создан каталог, содержащий 408 объектов. Из дальнейшего анализа были исключены 18 объектов не соответствующих критериям отбора.

Представлены распределения 390 звёзд по звёздной величине в полосе V и спектральному типу, а для 250 дана статистика по амплитуде их переменности. Указана информация о периодах переменности 187 и 20 звёздах с экзопланетами. Проанализированы 178 объектов с обнаруженным или заподозренным рентгеновским излучением и показано распределение их по спектральному типу. Также приведена статистика для 23 звёзд, у которых найдено радиоизлучение.

В приложении к [1] дано описание каталога звёзд с активностью солнечного типа [2]. С целью его дополнения в него включена информация о рассмотренных выше звёздах и выполнен дополнительный поиск радиоизлучения у объектов каталога.

Показаны особенности идентификации радиоисточников и обнаружения отношения сигнала от них к фону при обработке изображений радиодиапазона, а также представлены данные об использованных радио обзорах неба, карты окрестностей исследованных звёзд с определением потоков и их идентификация в оптическом диапазоне спектра.

- [1] Gershberg R.E., Kleeorin N.I., Pustilnik L.A., Airapetian V.S. and Shlyapnikov A.A. «Physics of mid- and low-mass stars with solar-type activity and their impact on exoplanetary environments» // Simferopol: LLC “Forma”, 2024, – 764 p., ISBN 978-5-907548-55-8.
- [2] Shlyapnikov A.A. Catalog of Stars with Solar-Type Activity // arXiv e-prints, 2024, 2024arXiv240215241S.

Оглавление

Секция I. Цикл солнечной активности: наблюдательный и теоретический аспекты	3
<i>Абраменко В.И.</i> Взаимосвязь между фотосферой и короной . . .	4
<i>Ахтемов З.С., Цап Ю.Т., Шапошников В.Д., Плотников А.А.</i> Измерения максимальных напряженностей сильных магнитных полей солнечных пятен по данным MWO, КрАО и Hinode	6
<i>Березин И.А., Тлатов А.Г.</i> Переполюсовка в 25-м цикле активности по данным измерений магнитных полей Солнца и наблюдений в линии H_{α}	7
<i>Березин И.А., Тлатов А.Г., Шрамко А.Д., Дормидонтов Д.В.</i> Система обработки, хранения и доступа к мульти-инструментальным данным солнечной активности	8
<i>Быленко И.А.</i> Особенности топологии солнечных магнитных полей в 21-25 циклах	9
<i>Богод В.М., Рипак А.М., Лебедев М.К., Овчинникова Н.Е., Курочкин Е.А.</i> Новые горизонты радиоспектроскопии солнечной короны	10
<i>Вернова Е.С., Тясто М.И., Баранов Д.Г.</i> Дисбаланс положительных и отрицательных фотосферных магнитных полей для различной напряженности поля	11
<i>Григорьева И.Ю., Ожередов В.А., Струминский А.Б.</i> К вопросу модуляции потока галактических космических лучей солнечной активностью	12
<i>Дмитриев П.Б.</i> Вращение солнечной короны на основе посуточных данных радио индекса солнечной активности на протяжении 19-24 солнечных циклов	13
<i>Жукова А.В., Абраменко В.И.</i> Исследование удельных магнитных потоков активных областей разных магнито-морфологических классов	14
<i>Золотова Н.В., Возмьянин М.В.</i> Долгоживущие группы пятен семнадцатого столетия	15
<i>Иванов В.Г.</i> «Игрушечные» модели 11-летней солнечной цикличности и правило Гневышева-Оля	16
<i>Илларионов Е.А.</i> Новые направления в физике Солнца, связанные с машинным обучением	17
<i>Ишков В.Н.</i> Текущий момент развития 25 цикла солнечной активности: фаза максимума	18
<i>Ишков В.Н., Лебедев Н.И., Лебедев М.Н.</i> Вспышечная активность фазы максимума текущего 25 цикла солнечной активности . . .	20
<i>Королькова О.А., Живанович И., Соловьев А.А.</i> Долгопериодические колебания магнитного поля солнечных пятен по данным SDO . .	21
<i>Костюченко И.Г., Вернова Е.С.</i> Эффект Гневышева в суммарной по диску площади групп пятен разных размеров	22

<u>Крайнев М.Б., Калинин М.С.</u> О влиянии на гелиосферу и интенсивность ГКЛ в ней двух ветвей солнечной активности	23
<u>Клиорин Н., Кузанын К.М., Обридо В.Н., Сафиуллин Н.Т., Поршнев С.В., Степанов Р.А.</u> Текущее кратко- и среднесрочное прогнозирование солнечной активности с помощью модели динамо с магнитной спиральностью и управляемой ею нейронной сети	24
<u>Купряков Ю.А., Бычков К.В., Белова О.М., Горшков А.Б., Малютин В.А.</u> Анализ динамики развития вспышки SOL2013-05-17	25
<u>Литвишко Д.В., Куценко А.С., Абраменко В.И.</u> Статистическое сопоставление параметров анти-Хейловских и остальных активных областей на Солнце	26
<u>Макаренко Н.Г., Рыбинцев А.С., Волобуев Д.М.</u> Топологический анализ сети, дуальной временному ряду чисел Вольфа	27
<u>Наговицын Ю.А., Осипова А.А., Федосеева С.Н.</u> Вековые изменения свойств и численности групп солнечных пятен	28
<u>Нечаева А.Б., Зимовец И.В., Шарыкин И.Н., Анфиногентов С.А.</u> Незатухающие колебания солнечных корональных петель как возможные предвестники мощных вспышек	29
<u>Обридо В.Н., Шибалова А.С., Соколов Д.Д.</u> Структуры разных типов симметрии в цикле солнечной активности	30
<u>Наговицын Ю.А., Осипова А.А., Федосеева С.Н.</u> Две популяции групп солнечных пятен и правило Гневыхева-Вальдмайера	31
<u>Остряков В.М., Васильев Г.И., Ковальцов Г.А.</u> Гамма-излучение спокойного Солнца: линии 0.84 и 1.2 МэВ	32
<u>Pevtsov A.A., Bertello L., Pevtsov A.A.</u> Compact and lightweighted instruments for measuring magnetic field on the Sun	33
<u>Соколов Д.Д.</u> Теория солнечного динамо в меняющейся науке	34
<u>Старченко С.В., Яковлева С.В.</u> Спектры годовых чисел Вольфа и соответствующих знакопеременных полей	35
<u>Тлатов А.Г.</u> Биполи в расширенном цикле солнечной активности и TUT-модель солнечной цикличности	36
<u>Тлатов А.Г., Березин И.А.</u> Формирование секторной структуры по данным наблюдений магнитных полей и моделирования переноса магнитного потока	37
<u>Тлатова К.А., Тлатов А.Г.</u> Дифференциальное вращение и меридиональные перемещения отдельных солнечных пятен	38
<u>Шибасев И.Г., Шибасев А.И.</u> Возможности метода главных компонент при коррекции и прогнозировании солнечных циклов	39
Секция II. Моделирование активных солнечных образований, процессов и явлений	40
<u>Абрамов-Максимов В.Е.</u> Симпатические явления по наблюдениям на радиогелиографе Нобеяма	41
<u>Агапова Д.В., Завершинский Д.И., Молевич Н.Е.</u> Анализ различий в дисперсии поперечных гармоник медленных магнитоакустических волн в корональных петлях	42

<u>Бакунина И.А., Мельников В.Ф., Шаин А.В., Кузнецов С.А., Абрамов-Максимов В.Е.</u> Поведение микроволнового излучения в активных областях с «запертыми» и «открытыми» магнитными жгутами	43
<u>Беспалов П.А., Савина О.Н.</u> Формирование каверн плотности в бес- силовых конфигурациях магнитного поля солнечной короны	44
<u>Богомолов Ю.В.</u> Генетический подход в подборе параметров алгорит- ма обратной свертки	45
<u>Головкин А.А.</u> Управляющие параметры эволюции солнечных актив- ных областей	46
<u>Голубчина О.А.</u> Яркостные температуры и электронные concentra- ции сантиметрового излучения открытой северной полярной обла- сти Солнца по данным наблюдений максимальной фазы солнечно- го затмения 29.03.2006 года	47
<u>Гонимов О.С.</u> Статистические свойства мягкого рентгеновского излу- чения во время мощных вспышечных событий	48
<u>Дертеев С.Б., Сапрыкин М.Е., Михалев Б.Б.</u> Двухпериодические колебания плазмы в солнечной короне	49
<u>Ерофеев Д.В., Кузьменко И.В.</u> Пространственно-временные вари- ации энерговыделения во время вспышки класса М по измерениям яркости вспышечных лент	50
<u>Живанович И., Соловьев А.А., Королькова О.А.</u> Связь площади тени солнечного пятна и напряженности магнитного поля в центре тени пятна и на границе тень-полутень	51
<u>Загайнова Ю.С., Обридо В.Н., Файнштейн В.Г., Руденко Г.В.</u> О некоторых особенностях эволюции магнитного комплекса актив- ности, включающего АО NOAA 11944 и NOAA 11946, при его про- хождении по диску Солнца	52
<u>Зимовец И.В., Койнаш Г.В., Шарыкин И.Н., Иванов Е.Ф., Кисе- лёв В.И., Низамов Б.А.</u> Многоволновые наблюдения квазиперио- дических пульсаций в импульсной солнечной вспышке C2.8 класса	53
<u>Калинин А.А., Калинина Н.Д.</u> Расчет спектра простой магнитогид- ростатической модели протуберанца	54
<u>Кашапова Л.К., Жмуркина А.Д., Шамсутдинова Ю.Н.</u> Место пер- вичного энерговыделения и радиовсплески III типа во время нача- ла мощной солнечной вспышки	55
<u>Шамсутдинова Ю.Н., Рожкова Д.В., Кашапова Л.К., Губин А.В.</u> Использование методов машинного обучения для создания ката- лога солнечных вспышек по наблюдениям на Сибирском Радиогелио- графе	56
<u>Крайнев М.Б., Калинин М.С.</u> Об особенностях моделирования коро- тирующих областей взаимодействия солнечного ветра для описа- ния этих областей и вариаций интенсивности ГКЛ в них	57
<u>Кудрявцев И.В., Ватагин П.В.</u> О влиянии обратного тока на возбуж- дение ленгмюровских волн в плазме солнечных вспышек	58

<u>Кудрявцев И.В., Овчинникова Н.Е., Кальтман Т.И.</u> Диагностика ленгмюровской турбулентности на основе дециметрового излу- чения слабого транзиентного события 16 марта 2023 г.	59
<u>Куприянова Е.Г., Шабалин А.Н., Чариков Ю.Е.</u> О бетатронном уско- рении в симметрично осциллирующих корональных структурах	60
<u>Макаренко Н.Г., Преображенский И.Е.</u> Реконструкция динамики АО из магнитограмм, моделью больших диффеоморфизмов	61
<u>Мельников В.Ф., Кузнецов А.А., Анфиногентов С.А., Ву Ж., Чень Я.</u> Пространственные и спектральные характеристики ис- точника микроволнового излучения во вспышке 9 мая 2023 года по данным Сибирского радиогелиографа	62
<u>Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.</u> Изменение ориентации дипольного момента активной области Солнца	63
<u>Мерзляков В.Л.</u> Магнитный дипольного момента источника солнеч- ной вспышки	64
<u>Можаровский С.Г.</u> Измерения продольного поля по спектрополяри- метрическим данным и микротурбулентный характер магнитного поля	65
<u>Моторина Г.Г., Шарыкин И.Н., Зимовец И.В.</u> Поиск возможных предвестников серии солнечных вспышек, произошедших 9 декаб- ря 2014 года	66
<u>Подгорный А.И., Подгорный И.М.</u> Положения солнечных вспышек и цепочки максимумов плотности тока, лежащих на особых линиях, полученные в результате МГД моделирования над активной обла- стью	67
<u>Полухина С.А., Кашапова Л.К.</u> Исследование свойств источника энерговыведения круговой вспышки по данным микроволновых наблюдений	68
<u>Романов К.В., Романов Д.В., Романов В.А., Степанов Е.А., Лебе- дев А.А.</u> Распространение крутильных волн в зарождающихся солнечных пятнах	69
<u>Симонова Т.В., Зайцев В.В.</u> Критические токи в корональных маг- нитных петлях и их возможное проявление во время вспышечных процессов	70
<u>Смирнов Д.А., Мельников В.Ф.</u> Диагностика динамики магнитного поля в области солнечных вспышек на основе данных Сибирского радиогелиографа	71
<u>Смирнов Д.А., Мельников В.Ф.</u> Радиодиагностика вспышек на осно- ве частотного спектра в ограниченном диапазоне частот	72
<u>Смирнова В.В., Цап Ю.Т., Моторина Г.Г., Моргачев А.С.</u> Особен- ности субтерагерцового излучения вспышки SOL20130416T07:30 рентгеновского класса C	73
<u>Соловьев А.А., Королькова О.А.</u> Жгутовые модели вспышек и пере- ход волокна в режим КВМ	74
<u>Степанов А.В., Зайцев В.В.</u> Рентгеновские предвестники солнечных вспышек	76

<u>Струминский А.Б., Ожередов В.А., Садовский А.М., Григорьева И.Ю.</u> Длительность и темп ускорения протонов в GLE и не GLE событиях	77
<u>Топчило Н.А., Рахимов И.А., Андреева Т.С., Петерова Н.Г.</u> Результаты тестовых наблюдений прилиम्бовой зоны Солнца на волне 3.5 см на РТ-32 ИПА РАН	78
<u>Филатов Л.В., Мельников В.Ф.</u> Ускорение нетепловых электронов при согласованном взаимодействии с нестационарной турбулентностью вистлеров во вспышечной петле	79
<u>Фурсяк Ю.А.</u> Полный электрический ток в активных областях с разным уровнем вспышечной продуктивности: статистический анализ	80
<u>Цап Ю.Т., Степанов А.В., Копылова Ю.Г.</u> Кулоновские столкновения и ускорение заряженных частиц в солнечных вспышках	81
<u>Шабалин А.Н., Чариков Ю.Е., Склярова Е.М.</u> Субсекундные рентгеновские и радиовсплески излучения в солнечных вспышках	82
Секция III. Гелиосейсмология	83
<u>Абрамов-Максимов В.Е., Бакунина И.А.</u> Предвспышечные флуктуации радиоизлучения Солнца по наблюдениям на RSTN и NoRH	84
<u>Гетлинг А.В.</u> Структура, масштабы и динамика течений в конвективной зоне Солнца	85
<u>Лопин И.П.</u> Радиальные колебания изогнутых корональных петель с переменным сечением	86
Секция IV. Солнечный ветер и космическая погода	87
<u>Абунина М.А., Шлык Н.С., Белов А.В., Белов С.М., Абунин А.А.</u> Исследование временных параметров межпланетных возмущений, содержащих магнитные облака	88
<u>Белаховский В.Б., Пилипенко В.А., Сахаров Я.А., Селиванов В.Н.</u> Оценка воздействия различных типов возмущений солнечного ветра на рост геомагнитно-индуцированных токов в линиях электропередач за 11 лет наблюдений	89
<u>Галикян Н.Г., Голубков В.С., Дягилев А.Р., Майоров А.Г., Юлбарисов Р.Ф.</u> Моделирование упругих и не упругих взаимодействий КЛ в пакете GT	90
<u>Губченко В.М.</u> К измерению параметра электромагнитной добротности потока горячей бесстолкновительной плазмы, управляющего перестройкой крупномасштабных электронных магнитосферных структур	91
<u>Птицына Н.Г., Данилова О.А., Тясто М.И.</u> Отклик жесткости геомагнитного обрезания космических лучей на изменения параметров солнечного ветра и геомагнитной активности во время бури 23–24 марта 2023 г.	92
<u>Дэспираж И.В., Клейменова Н.Г., Любчик А.А., Сецко П.В., Мальшева Л.М.</u> Полярные суббури в периоды низкой скорости солнечного ветра	93

<i>Калинин М.С., Крайнев М.Б.</i> О подходах к моделированию вариаций интенсивности ГКЛ, связанных с коротяирующими областями взаимодействия солнечного ветра	94
<i>Кислов Р.А.</i> Высокоширотные токовые слои в полярной гелиосфере и эффект их коротации с источником внутри корональной дыры	95
<i>Сапранев М.Е., Михалева О.Н., Михалева Б.Б.</i> Онлайн-сервис космической погоды SunGazers	96
<i>Сирук С.А., Лагойда И.А., Майоров А.Г., Юлбарисов Р.Ф.</i> Перспективная научная станция в горных районах арктической зоны РФ	97
<i>Сирук С.А., Майоров А.Г., Юлбарисов Р.Ф.</i> Расчет эффективных энергий нейтронных мониторов с использованием результатов эксперимента AMS-02	98
<i>Хохлачев А.А., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г., Рязанцева М.О., Рахманова Л.С.</i> Особенности внутренней структуры ICME	99
<i>Якунина Г.В.</i> Распространение и взаимодействие корональных выбросов масс	100
Секция V. Космический климат и климат Земли	101
<i>Васильев С.С., Дергачев В.А.</i> Изменения параметра солнечной модуляции в голоцене и наклон геомагнитного диполя	102
<i>Веретененко С.В.</i> Вариации атмосферных характеристик в высокоширотной области северного полушария во время солнечных протонных событий января 2005 года	103
<i>Веретененко С.В., Дмитриев П.Б.</i> Магнитный цикл Хейла в геофизических характеристиках и траекториях внетропических циклонов в Северной Атлантике	104
<i>Волубев Д.М., Кудрявцев И.В., Макаренко Н.Г.</i> Проблемы и перспективы реконструкции 11-летних циклов солнечной активности по радиоуглероду	105
<i>Демина И.М.</i> Мультидекадные вариации в солнечной активности и климате Земли	106
<i>Комитов Б.П., Кафтан В.И.</i> Нижняя ионосфера и земные тектонические процессы	107
<i>Кручинин П.А., Малахов В.В.</i> Расчет жесткости геомагнитного обреза с помощью трейсинга на основе метода Бунемана-Бориса	108
<i>Кудрявцев И.В.</i> О возможной причине похолодания в первом тысячелетии до нашей эры	109
<i>Кудрявцев И.В., Дергачев В.А., Наговицын Ю.А.</i> Изменение климата Земли в 13–15 тысячелетиях до нашей эры. Возможная причина	110
<i>Огуцов М.Г.</i> Климат Земли и квазидвухсотлетняя цикличность в вулканической активности.	111
<i>Остряков В.М., Васильев Г.И., Константинов А.Н., Павлов А.К.</i> Атмосферный ³ He как индикатор воздействия межзвездного газа на солнечную модуляцию	112
<i>Рагульская М.В.</i> Перспективы зоны обитаемости в Солнечной системе, на планетах земного типа и ледяных экзопланетах	113

<u>Фёдоров В.М., Фролов Д.М.</u> Особенности соотношений сезонного и годового облучения Земли в неоплейстоцене	115
<u>Фёдоров В.М.</u> Изотопная и солярная геохронология и климатостратиграфия неоплейстоцена и голоцена	116
<u>Шаповалов С.Н., Рябинин И.О., Соломатникова А.А., Соколов В.Т.</u> Мониторинг УФ-индекса в высокоширотной Арктике и Антарктиде	117
<u>Шаповалов С.Н., Чернышева М.П.</u> Фактор солнечной активности с высокой фотобиологической и фотохимической активностью .	118
<u>Шибает И.Г., Шибает А.И.</u> Связь показаний пульса и артериального давления при их длительном мониторинге	119
Секция VI. Прогнозирование солнечной активности и её геоэффективных проявлений	121
<u>Дергачёв В.А.</u> Изменение климата на интервале 540 миллионов лет и прогнозы будущего изменения климата	122
<u>Киселюс В., Илларионов Е.А.</u> Восстановление карт полярности магнитного поля Солнца методами машинного обучения	123
<u>Князева И.С., Курочкин Е.А., Лысов. И.И., Шендрих А.В., Мырза И.М.</u> Оценка эффективности прогноза солнечных вспышек с использованием данных разных слоев атмосферы	124
<u>Кудрявцева А.В., Мышьяков И.И., Анфиногентов А.С., Дашиинимаева С.А.</u> Источник над нейтральной линией в солнечной вспышке 23 марта 2024 года	125
<u>Курочкин Е.А., Петерова Н.Г., Топчило Н.А., Шендрих А.В.</u> Особенности прогнозирования вспышек в активных областях Солнца на микроволнах	126
<u>Ожередов В.А., Струминский А.Б., Григорьева И.Ю.</u> Создание интегральной обучающей базы для классификации вспышек методом машинного обучения	127
<u>Шлык Н.С., Белов А.В., Абунина М.А., Абунин А.А.</u> Прогноз протонных возрастаний по данным солнечных вспышек и выбросов	128
Секция VII. Солнечно-звёздные аналогии, звёздные циклы активности	129
<u>Алексеев И.Ю., Козлова О.В., Бондарь Н.И.</u> Фотометрия запятого гиганта FK Com	130
<u>Бондарь Н.И., Антоноук К.А., Питъ Н.В.</u> Развитие пятен на поверхности полностью конвективной М звезды V639 Her	131
<u>Горбачев М.А., Шляпников А.А.</u> К столетию обнаружения активности звёзд аналогичной солнечной: Звезда Герцшпрунга — DH Car	132
<u>Ихсанов Н.Р., Пустильник Л.А., Бескровная Н.Г.</u> Магнитовспышечная активность красных карликов в Полярах	133
<u>Кацова М.М., Обридж В.Н., Соколов Д.Д., Емельянов Н.В.</u> Существует ли синхронизирующее воздействие планет на циклическую активность Солнца и звёзд?	134

<i>Мотык И.Д., Кашанова Л.К., Рожкова Д.В.</i> Реконструкция и анализ микроволновых временных профилей вспышек Солнца как звезды	135
<i>Кислов Р.А., Старченко С.В.</i> Эволюция суммарной магнитной и кинетической энергии в конвективной зоне звезды	136
<i>Козлова О.В., Алексеев И.Ю.</i> Необычная спектральная активность запятного гиганта KU Peg	137
<i>Кузнецов А.А., Зайцев В.В.</i> Радиоизлучение ударной волны в окрестности экзопланеты HD 189733 b	138
<i>Старченко С.В.</i> Магнитная и кинетическая энергии конвективной зоны звезд в зависимости от их светимости, периода вращения и других оцениваемых параметров	139
<i>Холтыгин А.Ф., Рыспаева Е.Б.</i> Звезды типа γ Cas: переменность оптического и рентгеновского излучения	140
<i>Бондарь Н.И., Шляпников А.А.</i> Короткие циклы активности красных карликов по разным обзорам	141
<i>Шляпников А.А.</i> Статистический анализ избранных звёзд с активностью солнечного типа и поиск радиоизлучения у звёзд нижней части Главной последовательности	142
Оглавление	143
Список авторов	151

Список авторов

- Абраменко В.И., 4, 14, 26
Абрамов-Максимов В.Е., 41, 43, 84
Абунин А.А., 88, 128
Абунина М.А., 88, 128
Агапова Д.В., 42
Алексеев И.Ю., 130, 137
Андреева Т.С., 78
Антонюк К.А., 131
Анфиногентов А.С., 125
Анфиногентов С.А., 29, 62
Ахтемов З.С., 6
Бакунина И.А., 43, 84
Баранов Д.Г., 11
Белаховский В.Б., 89
Белов А.В., 88, 128
Белов С.М., 88
Белова О.М., 25
Березин И.А., 7, 8, 37
Бескровная Н.Г., 133
Беспалов П.А., 44
Биленко И.А., 9
Богод В.М., 10
Богомоллов Ю.В., 45
Бондарь Н.И., 130, 131, 141
Бычков К.В., 25
Васильев Г.И., 32, 112
Васильев С.С., 102
Ватагин П.В., 58
Веретененко С.В., 103, 104
Вернова Е.С., 11, 22
Волобуев Д.М., 27, 105
Вохмянин М.В., 15
Ву Ж., 62
Галикян Н.Г., 90
Гетлинг А.В., 85
Головко А.А., 46
Голубков В.С., 90
Голубчина О.А., 47
Гопасюк О.С., 48
Горбачев М.А., 132
Горшков А.Б., 25
Григорьева И.Ю., 12, 77, 127
Губин А.В., 56
Губченко В.М., 91
Данилова О.А., 92
Дапинимаева С.А., 125
Демина И.М., 106
Дергачёв В.А., 102, 110, 122
Дертеев С.Б., 49
Дмитриев П.Б., 13, 104
Дормидонтов Д.В., 8
Дэспирак И.В., 93
Дягилев А.Р., 90
Емельянов Н.В., 134
Ермолаев Ю.И., 99
Ерофеев Д.В., 50
Живанович И., 21, 51
Жмуркина А.Д., 55
Жукова А.В., 14
Завершинский Д.И., 42
Загайнова Ю.С., 52
Зайцев В.В., 70, 76, 138
Зимовец И.В., 29, 53, 66
Золотова Н.В., 15
Иванов В.Г., 16
Иванов Е.Ф., 53
Илларионов Е.А., 17, 123
Ихсанов Н.Р., 133
Ишков В.Н., 18, 20
Калинин А.А., 54
Калинин М.С., 23, 57, 94
Калинина Н.Д., 54
Кальтман Т.И., 59
Кафтан В.И., 107
Кацова М.М., 134
Кашапова Л.К., 55, 56, 68, 135
Киселюс В., 123
Киселёв В.И., 53
Кислов Р.А., 95, 136
Клейменова Н.Г., 93
Клиорин Н., 24
Князева И.С., 124
Ковальцов Г.А., 32

Козлова О.В., 130, 137
 Койнаш Г.В., 53
 Комитов Б.П., 107
 Константинов А.Н., 112
 Копылова Ю.Г., 81
 Королькова О.А., 21, 51, 74
 Костюченко И.Г., 22
 Крайнев М.Б., 23, 57, 94
 Кручинин П.А., 108
 Кудрявцев И.В., 58, 59, 105, 109, 110
 Кудрявцева А.В., 125
 Кузанын К.М., 24
 Кузнецов А.А., 62, 138
 Кузнецов С.А., 43
 Кузьменко И.В., 50
 Куприянова Е.Г., 60
 Купряков Ю.А., 25
 Курочкин Е.А., 10, 124, 126
 Куценко А.С., 26
 Лагойда И.А., 97
 Лебедев М.Н., 20
 Лебедев А.А., 69
 Лебедев М.К., 10
 Лебедев Н.И., 20
 Литвишко Д.В., 26
 Лодкина И.Г., 99
 Лопин И.П., 86
 Лысов. И.И., 124
 Любич А.А., 93
 Майоров А.Г., 90, 97, 98
 Макаренко Н.Г., 27, 61, 105
 Малахов В.В., 108
 Малышева Л.М., 93
 Малютин В.А., 25
 Мельников В.Ф., 43, 62, 71, 72, 79
 Мерзляков В.Л., 63, 64
 Михалев Б.Б., 49, 96
 Михалев О.Н., 96
 Можаровский С.Г., 65
 Молевич Н.Е., 42
 Моргачев А.С., 73
 Моторина Г.Г., 66, 73
 Мотык И.Д., 135
 Мырза И.М., 124
 Мышьяков И.И., 125
 Наговицын Ю.А., 28, 31, 110
 Нечаева А.Б., 29
 Низамов Б.А., 53
 Обридко В.Н., 24, 30, 52, 134
 Овчинникова Н.Е., 10, 59
 Огурцов М.Г., 111
 Ожередов В.А., 12, 77, 127
 Осипова А.А., 28, 31
 Остряков В.М., 32, 112
 Павлов А.К., 112
 Петерова Н.Г., 78, 126
 Пилипенко В.А., 89
 Пить Н.В., 131
 Плотников А.А., 6
 Подгорный А.И., 67
 Подгорный И.М., 67
 Полухина С.А., 68
 Поршнева С.В., 24
 Преображенский И.Е., 61
 Птицына Н.Г., 92
 Пустильник Л.А., 133
 Рагульская М.В., 113
 Рахимов И.А., 78
 Рахманова Л.С., 99
 Рипак А.М., 10
 Рожкова Д.В., 135
 Рожкова Д.В., 56
 Романов В.А., 69
 Романов Д.В., 69
 Романов К.В., 69
 Руденко Г.В., 52
 Рыбинцев А.С., 27
 Рыспаева Е.Б., 140
 Рябинин И.О., 117
 Рязанцева М.О., 99
 Савина О.Н., 44
 Садовский А.М., 77
 Сапралиев М.Е., 49, 96
 Сафиуллин Н.Т., 24
 Сахаров Я.А., 89
 Селиванов В.Н., 89
 Сецко П.В., 93
 Симонова Т.В., 70
 Сирук С.А., 97, 98
 Склорова Е.М., 82

Смирнов Д.А., 71, 72	Bertello L., 33
Смирнова В.В., 73	Pevtsov A.A., 33
Соколов В.Т., 117	
Соколов Д.Д., 30, 34, 134	
Соловьев А.А., 21, 51, 74	
Соломатникова А.А., 117	
Старкова Л.И., 63	
Старченко С.В., 35, 136, 139	
Степанов А.В., 76, 81	
Степанов Е.А., 69	
Степанов Р.А., 24	
Струминский А.Б., 12, 77, 127	
Тлатов А.Г., 7, 8, 36–38	
Тлатова К.А., 38	
Топчило Н.А., 78, 126	
Тясто М.И., 11, 92	
Файнштейн В.Г., 52	
Федосеева С.Н., 28, 31	
Филатов Л.В., 79	
Фролов Д.М., 115	
Фурсяк Ю.А., 80	
Фёдоров В.М., 115, 116	
Холтыгин А.Ф., 140	
Хохлачев А.А., 99	
Цап Ю.Т., 6, 73, 81	
Чариков Ю.Е., 60, 82	
Чень Я., 62	
Чернышева М.П., 118	
Шабалин А.Н., 60, 82	
Шаин А.В., 43	
Шамсутдинова Ю.Н., 55, 56	
Шаповалов С.Н., 117, 118	
Шапошников В.Д., 6	
Шарыкин И.Н., 29, 53, 66	
Шендрик А.В., 124, 126	
Шибает А.И., 39, 119	
Шибает И.Г., 39, 119	
Шибалова А.С., 30	
Шлык Н.С., 88, 128	
Шляпников А.А., 132, 141, 142	
Шрамко А.Д., 8	
Юлбарисов Р.Ф., 90, 97, 98	
Яковлева С.В., 35	
Якунина Г.В., 100	