

НАПРАВЛЕНИЕ 2. Солнце и гелиосфера

Кураторы направления: Ю.И. Ермолаев (ИКИ), А.В. Степанов (ГАО)

2.1	Проект 2.1: Солнечные вспышки, сопровождающиеся жестким гамма излучением >100 МэВ	Струминский А.Б., Зимовец И.В., Ерохин Н.С.
2.2	Проект 2.2: Влияние анизотропии свойств переноса в магнитном поле на взаимодействие солнечного ветра с межзвездной средой, планетами и кометами	Баранов В.Б
2.3	Проект 2.3: Исследование формирования солнечного ветра в короне и статистических параметров его турбулентности в гелиосфере	Слемзин В.А., Чашей И.В.
2.4	Проект 2.4: Исследование явлений нестационарного взаимодействия солнечного ветра с околоземной ударной волной	Вайсберг О.Л.
2.5	Проект 2.5: Поиск механизмов ускорения солнечного ветра на основе материалов радиозондирования, полученных с использованием космических аппаратов в течение трех циклов солнечной активности (1975-1984; 1994-2005; 2006-2013)	Яковлев О.И., Ефимов А.И.
2.6	Проект 2.6: Исследование пространственного и энергетического распределения межзвездного водорода в солнечном ветре	Измоденов В.В.
2.7	Проект 2.7: Новые методы и технологии построения изображений Солнца со сверхвысоким пространственным разрешением в ходе космических экспериментов	Кузин С.В., Богачев С.А.
2.8	Проект 2.8: Теория, экспериментальные исследования и численное моделирование магнитогидродинамической турбулентности в солнечном ветре и образование ударных волн в астрофизических объектах	Сон Э.Е.
2.9	Проект 2.9: Средние физические характеристики пятен в изменениях солнечной активности	Наговицын Ю.А., Тлатов А.Г.
2.10	Проект 2.10: Исследования процессов ускорения ионов и электронов в солнечных вспышках по результатам измерений рентгеновского и гамма-излучения в российско-американском эксперименте КОНУС-ВИНД и в экспериментах ГЕЛИКОН и ИРИС на солнечной обсерватории «КОРОНАС-Ф»	Чариков Ю.Е.
2.11	Проект 2.11: Выявление вклада естественных и антропогенных факторов в изменения глобального климата Земли, оценка возможных климатических последствий различных солнечно-космических явлений и разработка сценариев возможной эволюции климата Земли в 21-м веке на основе анализа инструментальных, исторических и палеоданных об изменении ряда природных характеристик	Дергачев В.А.

2.12	Проект 2.12: Исследование ультратонких хромосферных петель и их вспышечной активности	Зайцев В.В.
2.13	Проект 2.13: Глобальные комплексы активности и соотношение магнитных полей различных пространственных масштабов	Обридко В.Н., Кузнецов В.Д.
2.14	Проект 2.14: Исследование геоэффективности крупномасштабных структур солнечного ветра	Ермолаев Ю.И., Веселовский И.С., Застенкер Г.Н.
2.15	Проект 2.15: Эруптивные явления на Солнце и их роль в формировании космической погоды	Фомичев В.В., Белов А.В.
2.16	Проект 2.16: Физические процессы в атмосфере Солнца: плазменные неустойчивости, МГД-волны, нагрев плазмы и электромагнитное излучение	Степанов А.В.
2.17	Проект 2.17: Физика магнитосфер активных областей в переходной области хромосфера-корона и нижней короны Солнца по микроволновым наблюдениям	Богод В.М.
2.18	Проект 2.18: Ускорение заряженных частиц, нагрев плазмы в нестационарных процессах на Солнце и новые физические модели активных образований	Соловьев А.А.

Проект 2.1. Солнечные вспышки, сопровождающиеся жестким гамма излучением >100 МэВ

Тема 2.1.1. Солнечные вспышки, сопровождающиеся жестким гамма излучением >100 МэВ и развитие методов модуляционных коллиматоров для солнечных телескопов жесткого рентгеновского диапазона

Цель работы:

А) Исследовать особенности солнечных вспышек, в которых LAT FermiGRO регистрирует жесткое гамма излучение >100 МэВ.

Б) Разработать инструментарий (математическую теорию и программное обеспечение) для оптимизации модуляционных систем (коллиматоров) для компактных солнечных телескопов-спектрометров жесткого рентгеновского диапазона.

Результаты работы за 2015 г.:

Детального анализа 2-3 событий из списка (Askermann M., et al., 2014) проведено не было ввиду отсутствия финансирования, грубый анализ этих событий показал:

- Высокоэнергичное солнечное γ -излучение, наблюдавшееся LAT/FermiGRO в импульсной фазе вспышек сопровождалось HXR излучением >100 кэВ (наблюдения GBM/FermiGRO и/или ACSSPI, но жесткое рентгеновское излучение не наблюдалось в длительной фазе спада.

- Процессы ускорения протонов и электронов должны быть различны в импульсной и длительной фазах и/или удержание протонов должно быть более эффективным, чем электронов.
 - Отмечено, что разница между временами роста до максимума температуры и меры эмиссии больше для вспышек с длительным высокоэнергичным γ -излучением, которые также сопровождаются мощными протонными событиями.
 - Частично разработан математический аппарат и программное обеспечение для расчета функций рассеяния точки модельных телескопических системам на основе модуляционных коллиматоров Фурье-типа.
 - Предложена концепция создания телескопа-спектрометра жесткого рентгеновского диапазона для изучения солнечных вспышек на малоразмерных космических платформах.
- Руководители проекта:** А.В.Струминский, И.В.Зимовец (ИКИ РАН).
- Публикации:** по данной теме в 2015 году были опубликованы 2 статьи.

Тема 2.1.2. Решение проблемы наблюдаемой переменности спектров космических лучей для энергий до 10^{17} эВ.

Предложено решение проблемы переменности энергетических спектров космических лучей (КЛ) (р – протонов, и He– ядер гелия) по результатам анализа большого количества экспериментов в диапазоне энергий от 10 ГэВ до $\sim 10^7$ ГэВ на основе гипотезы существования (кроме постоянного фона) двух близких (к Солнцу) переменных источников КЛ.

Руководитель проекта: Ерохин Н.С.

Публикации: по данной теме в 2015 году было опубликовано 3 статьи и сделан 1 доклад на конференции.

Проект 2.2. Влияние анизотропии свойств переноса в магнитном поле на взаимодействие солнечного ветра с межзвездной средой, планетами и кометами

Работа по Программе 9 за отчетный период времени велась по двум направлениям: (а) влияние магнитного поля на взаимодействие солнечного ветра с кометами малой производительности (малое количество испаряющегося газа с поверхности кометы в перигелии) и (б) проведение интерпретации экспериментальных данных, получаемых на космических аппаратах Вояджер-1 и Вояджер-2 на основе выполненных исполнителями гранта теоретических работ.

Тема 2.2.1. Влияние магнитного поля на взаимодействие солнечного ветра с кометами малой производительности.

Построена трехмерная магнитогидродинамическая (МГД) модель взаимодействия солнечного ветра с кометами малой активности испарения.

Первое направление связано с актуальной проблемой исследования обтекания солнечным ветром кометы Чурюмова-Герасименко, которое проводится в настоящее время при помощи приборов, установленных на космическом аппарате «Розетта». На примерах исследования обтекания комет Галлея и Григга-Шеллерупа солнечным ветром показано, что разработанная 3D МГД модель дает результаты, хорошо совпадающие с данными экспериментов, которые получены при помощи аппарата «Джотто». На основе такого совпадения были даны предсказания кометоцентрического расстояния и формы головной ударной волны и кометоплазмы для кометы Чурюмова-Герасименко.

Руководитель проекта:

Баранов Владимир Борисович, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
baranov@ipmnet.ru

Публикации: по данному проекту в 2015 году было опубликовано 2 статьи.

Тема 2.2.2. Проведение интерпретации экспериментальных данных, получаемых на космических аппаратах Вояджер-1 и Вояджер-2 на основе выполненных исполнителями гранта теоретических работ.

По второму направлению на основе теоретических моделей взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой, разработанных исполнителями Программы, была подвергнута сомнению интерпретация данных о пресечении гелиопаузы (границы солнечного ветра и межзвездной среды) аппаратом Вояджер-1 в 2012 году, сделанная на основе измерения потоков энергичных заряженных частиц и магнитного поля (на этом аппарате приборы, измеряющие макроскопические параметры плазмы, вышли из строя).

Кроме того, гелиопауза может иметь сложную структуру вследствие анизотропии теплопроводности и электропроводности в магнитном поле, толщина которой определяется макроскопическими параметрами плазмы вблизи гелиопаузы. Эти параметры не измеряются на аппарате Вояджер-1.

Руководитель проекта:

Баранов Владимир Борисович, Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
baranov@ipmnet.ru

Публикации: по данному проекту в 2015 году были опубликованы 3 статьи.

Проект 2.3. Исследование формирования солнечного ветра в короне и статистических параметров его турбулентности в гелиосфере.

Тема 2.3.1. Анализ параметров солнечного ветра, его источников в 24-ом цикле солнечной активности.

По данным со спутников ACE, Wind, STEREO, SDO проведен статистический анализ параметров СВ, его источников в короне и геоэффективности в 24-м цикле солнечной активности. Установлено, что корональными источниками наиболее сильных магнитных бурь с индексом $Dst < -40$ нТ в 2007 – 2015 г.г. в более 70% случаев явились межпланетные выбросы массы (МКВМ), ассоциированные со вспышками и корональными выбросами массы (КВМ) и проявившиеся в виде транзиентных потоков солнечного ветра типа магнитных облаков, $MO+sheath$, $sheath$. На основе анализа ионного состава этих транзиентных потоков было найдено, что ионные отношения $C6/C5$, $O7/O6$ и средний заряд ионов железа QFe в 24-м цикле меньше, чем в предыдущем 23-м цикле, что связано с более низкой температурой корональной плазмы. Путем сопоставления параметров плазмы корональных выбросов с ионным составом транзиентных потоков СВ было установлено, что источниками геомагнитной бури 5 – 6 августа 2011 г. послужили солнечные вспышки и корональные выбросы массы (КВМ) 2, 3 и 4 августа 2011, из которых наиболее сильное влияние оказали вспышка и КВМ 2 августа.

Соруководитель темы: В.А. Слемзин, slem@sci.lebedev.ru

Публикации: по данной теме в 2015 году были опубликованы 2 статьи.

Тема 2.3.2. Исследование межпланетных мерцаний.

Проведена обработка наблюдений межпланетных мерцаний, выполненных в период максимума солнечной активности с апреля 2013 г. по апрель 2014 г. на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц. По картам распределения уровня мерцаний, усредненным по месячным интервалам, исследована глобальная структура распределения солнечного ветра в период максимума солнечной активности, которая оказалась в среднем близкой к сферически симметричной. Полученные данные показывают, что на сферически симметричном фоне наблюдается восточно-западная асимметрия, которая свидетельствует о присутствии в солнечном ветре крупномасштабных структур спирального типа.

Соруководитель темы: Чашей И.В., chashey@prao.ru

Публикации: по данной теме в 2015 году были опубликованы 2 статьи.

Проект 2.4. Исследование явлений нестационарного взаимодействия солнечного ветра с околоземной ударной волной.

Проведены исследования пространственной структуры аномалий горячего потока вблизи фронта околоземной ударной волны с целью выявления связи области выделения энергии и структуры конвекции.

Проведён анализ события, зарегистрированного группировкой CLUSTER 22.02.2006. По данным четырёх аппаратов была построена предполагаемая геометрия процессов взаимодействия токового слоя и ударной волны в области регистрации события, включающая в себя ориентацию токового слоя, оценки его скорости смещения по ударной волне, определение геометрии ударной волны и магнитного поля (квази-параллельная/квази-перпендикулярная). Так же, по данным четырёх аппаратов были проведены оценки электрических полей вблизи токового слоя, зарегистрированного при наблюдении события, на основании характера распределения частиц разных популяций плазмы, оценок Ларморовского радиуса для частиц в наблюдаемых условиях и оценок электрических полей был предложен предварительный сценарий формирования исследуемого образования.

Руководитель проекта: д.ф.-м.н. Вайсберг О.Л.

Сделан доклад на Cluster 15th and Double Star 10th anniversary workshop October 2015.

Проект 2.5. Поиск механизмов ускорения солнечного ветра на основе материалов радиозондирования, полученных с использованием космических аппаратов в течение трех циклов солнечной активности

Альвеновские волны, генерируемые вблизи фотосферы и распространяющиеся в межпланетное пространство, предполагаются одним из главных механизмов нагрева солнечной короны и ускорения солнечного ветра. Прямые наблюдения этих волн на малых расстояниях от Солнца представляют большую трудность, т.к. наибольшее приближение космических аппаратов к Солнцу превышает 62 солнечных радиуса. Поэтому приобретают важное значение дистанционные методы исследования внутренней короны и, в первую очередь, радиозондирование сигналами космических аппаратов. Наблюдения фарадеевского вращения плоскости поляризации сигналов радиоисточников вблизи их верхнего соединения дают информацию о магнитных полях солнечной короны для областей, недоступных для локальных методов исследований. Наиболее крупномасштабные эксперименты по радиозондированию солнечной короны линейно-

поляризованными сигналами были выполнены с использованием солнечных зондов HELIOS-1 (1975-1984) и HELIOS-2 (1976-1980).

Корреляционный и спектральный анализ флуктуаций фарадеевского вращения плоскости поляризации радиоволн при распространении их в солнечной короне был выполнен на основе данных, полученных при реализации миссий HELIOS-1 и HELIOS-2.

Кросс-корреляционная обработка материалов одновременных наблюдений флуктуаций фарадеевского вращения в нескольких разнесенных на большое расстояние наземных пунктах были использованы для определения скорости движения альвеновских волн для гелиоцентрических расстояний между 3 и 6 радиусами Солнца R_S . Найденные значения скоростей изменяются в пределах от 250 до 650 км/с и всегда превышают локальную скорость солнечного ветра. Это свидетельствует о том, что более существенный по сравнению с электронной концентрацией плазмы вклад в флуктуации фарадеевского вращения вносят флуктуации магнитного поля (альвеновские волны).

Было установлено, что измерения фарадеевского вращения, зарегистрированные при проведении экспериментов радиозондирования околосолнечной плазмы сигналами зондов HELIOS-1 и HELIOS-2, демонстрируют присутствие волновых структур с периодами, изменяющимися в пределах от 2.5 до 160 минут. Наиболее частыми являются периоды вблизи 5, 20, 30 и 6 минут, которые могут рассматриваться как гармоники наиболее длинного периода флуктуаций, составляющего 160 минут.

Установлено, что амплитуда квазипериодических осцилляций, как правило, является более высокой для больших периодов вариаций.

Руководитель проекта: Ефимов Анатолий Иванович, к.т.н., зав.лаб.

E-mail: efimov@ms.ire.rssi.ru).

Публикации: поданному проекту в 2015 году были опубликованы 3 статьи.

Проект 2.6. Исследование пространственного и энергетического распределения межзвездного водорода в солнечном ветре.

Показано, что распределение межзвездных атомов водорода на границе гелиосферы (в водородной стенке) влияет на характеристики рассеянного солнечного Лайман-альфа излучения, измеряемого внутри гелиосферы.

В рамках данного проекта мы исследовали возможные способы удаленной диагностики водородной стенки с помощью измерений рассеянного солнечного Лайман-альфа излучения в гелиосфере. Исследование показало, что только по интенсивности

рассеянного излучения в носовой части гелиосферы диагностировать наличие и высоту водородной стенки не представляется возможным, поскольку вклад излучения от стенки мал по сравнению с излучением, рассеянным внутри гелиосферы. Однако отношение интенсивностей в хвостовой и носовой частях гелиосферы оказывается чувствительно к высоте и положению водородной стенки.

Расчеты проводились в рамках численной модели гелиосферного ударного слоя вдоль траектории аппарата Вояджер-1 в период 1993-2003 гг., когда он находился на расстояниях 50-90 а.е. от Солнца. В дальнейшем планируется провести параметрическое исследование и выяснить, возможно ли выбрать параметры ЛМС так, чтобы они позволяли объяснить данные Вояджера по интенсивностям Лайман-альфа излучения, а также не противоречили другим данным.

Руководитель проекта:

Измоденов Владислав Валерьевич, ИКИ РАН, izmod@iki.rssi.ru

Публикации: по данному проекту в 2015 году было опубликовано 3 статьи.

Проект 2.7. Новые методы и технологии построения изображений Солнца со сверхвысоким пространственным разрешением в ходе космических экспериментов.

Тема 2.7.1. Получены данные о корреляции между мерой эмиссии и температурой горячей компоненты солнечных микровспышек и характеристиками фотосферного магнитного поля во вспышечной области. Ранее соответствующая информация была получена только для вспышек большей мощности. Показано, что зависимость интенсивности излучения вспышек от потока магнитного поля имеет степенной характер. Наклон спектра в области вспышек малых энергий в целом совпадает с наклоном спектра в области крупных вспышек. Указанный результат дает аргументы в пользу точки зрения, что вспышки малых и крупных рентгеновских классов образуются одним механизмом.

Публикация: по данной теме находится в печати 1 статья.

Тема 2.7.2. Впервые в короне Солнца обнаружены петлеобразные структуры (аркады) с температурой более 5 млн. К. Ранее плазма такой температуры регистрировалась на Солнце только в виде отдельных источников излучения, расположенных вблизи вершин вспышечных магнитных петель. Наблюдения были проведены прибором ФИАН MISH (монохроматический спектрогелиометр, работавший на линии Mg XII 8.42 А), установленном на российском спутнике КОРОНАС-Фотон. Предложено теоретическое объяснение.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Тема 2.7.3. Разработана методика контроля летной системы юстировки зеркал для космических солнечных телескопов высокой точности. Система юстировки зеркал предназначена для решения двух основных задач: наведения оси визирования инструмента на интересующий участок солнечной короны в пределах $\pm 30'$ без переориентации спутника или телескопа и внутренняя стабилизация оптической системы для получения изображений с сверхвысоким разрешением (до 0.1") во время длительной экспозиции при наличии внешних воздействий от КА.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Руководители проекта: Кузин С.В., Богачёв С.А. (ФИАН).

Проект 2.8. Теория, экспериментальные исследования и численное моделирование магнитогидродинамической турбулентности в солнечном ветре и образование ударных волн в астрофизических объектах»

Разработана теория и численные методы моделирования, лабораторные методы получения ударной волны Тейлора и стационарной ударной волны с интенсивностью ~ 1 кбар в слое воды толщиной 1 мм. Волна Тейлора создается при помощи короткого (10 нс) импульса лазерного излучения с энергией 0.35 Дж, стационарная ударная волна создается в исследуемом слое ударником, летящим со скоростью ~ 100 м/с. Разработана расчетная модель методов получения ударных волн в слое воды.

Получены уравнения и поставлены задачи МГД-турбулентности в формализме Эльзассера и получены моментные уравнения, позволяющие моделировать турбулентность солнечного ветра и другие задачи планетной астрофизики, разработаны программы моментного и прямого численного моделирования МГД-турбулентности.

Руководитель проекта:

Сон Эдуард Евгеньевич, д.ф.-м.н., член-корр. РАН, son.eduard@gmail.com

Объединенный институт высоких температур РАН

Публикации: по данному проекту в 2015 году опубликовано 7 статей и сделан 1 доклад на конференции.

Проект 2.9. Средние физические характеристики пятен в изменениях солнечной активности

Тема 2.9.1. Две популяции солнечных пятен и солнечное динамо.

Показано, что по своим физическим характеристикам (распределению площадей, времени жизни, дифференциальному вращению) группы солнечных пятен образуют две различающиеся популяции, что может говорить о двух областях генерации магнитного поля в солнечном динамо: глубокой (тахоклин) и подповерхностной (лептоклин).

Публикации: по данной теме в 2015 году было опубликовано 3 статьи.

Тема 2.9.2. Новые свойства широтно-временной эволюции локальных и крупномасштабных магнитных полей Солнца в 11-летнем цикле и модели динамо.

Обнаружены новые закономерности широтно-временной эволюции локальных – пятенных – магнитных полей (ЛМП) и напряжённости крупномасштабного фотосферного магнитного поля Солнца (КМП).

Найдено, что широтно-временные зависимости КМП и ЛМП в диапазоне широт $\pm 40^\circ$ («бабочки Маундера») сходны друг с другом, а изменения во времени индексов мощности КМП и ЛМП хорошо скоррелированы между собой. Получены соотношения, связывающие индексы ЛМП и КМП с квадратами размера соответствующих широтных зон, указывающие на наличие тесной зависимости между интенсивностью магнитного поля и широтным размером этой зоны активности. При усреднении по долготам значений напряженности КМП с учетом полярности скорость широтного дрейфа к полюсам элементов поля одного знака имеет тенденцию к понижению в эпохи максимумов 11-летних циклов по сравнению с эпохами минимумов. Установлено, что средние широты ЛМП (пятен) ведут себя универсальным образом, не зависящим от мощности 11-летнего цикла, а на фазе спада цикла они связаны с текущим уровнем солнечной активности.

Продемонстрировано, как эти особенности могут быть воспроизведены в рамках простых моделей конвективного динамо в тонком слое.

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликовано 5 статей.

Тема 2.9.3. Создание псевдо-магнитограмм за период 1915-1985 гг.

Разработан метод изучения долговременных изменений магнитных полей Солнца на основе исторических данных наблюдений спектрогелиографов в линии CaIIK. Для этого были использованы синоптические карты за период 1915-1985 гг., созданные на основе ежедневных наблюдений обсерватории Маунт Вилсон. В процессе анализа был разработан новый подход для калибровки интенсивности. Данные наблюдений в линии CaIIK сравнивались с наблюдениями вакуумного магнитографа обсерватории Китт-Пик.

Это позволило создать долговременный ряд псевдо магнитограмм за этот период около 60 лет.

Публикация: по данной теме в 2015 году была опубликована 1 статья.

Тема 2.9.4. Сопоставление фотосферных измерений магнитных полей пятен с магнитометрическими измерениями в радиоастрономии.

Получен статистического материала о структуре магнитного поля от уровня фотосферы до уровней нижней короны. Корональные магнитные поля могут быть измерены на высотах выхода магнитного потока в область высоких корональных температур. При этом, информация может быть получена по анализу соответствующего циклотронного излучения на разных высотах в зависимости от излучаемого типа моды. Проведен анализ сопоставления оптических и радиоастрономических измерений магнитного поля над пятнами в широком диапазоне их величин. Сопоставление с данными фотосферных магнитных измерений дает возможность построения корректной модели магнитосферы над пятном.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Тема 2.9.5. Создание базы данных свойств отдельных солнечных пятен за период 1918-1972 гг.

Выполнено выделение солнечных пятен на фотопластинках архива наблюдений солнца в "белом" свете в период с 1920 по 1972 гг. по данным обсерватории RGO. Целью проведения такой работы было создание каталога не только групп, но отдельных солнечных пятен и промер их различных геометрических характеристик.

Разработаны методики, реализованные в компьютерной программе для анализа изображений автоматического выделения солнечных пятен и пор. Объем оцифрованных и обработанных пластинок составил около 156000 тыс. пластинок, количество выделенных пятен и пор ~280 тыс. После автоматического выделения проводилась выверка результатов в полуавтоматическом режиме. Сравнение площади пятен с данными ручной обработки (www.ngdc.edu) показало высокий коэффициент корреляции ($R \sim 0.98$) и абсолютных величин среднемесячных значений. Установлены новые факты о характеристиках солнечных пятен в циклах активности: распределения по площади в 16-20 циклах активности, особенности взаимного положение пятен в группах, связи интенсивности и площади и другие.

Публикация: по данной теме в 2015 году была опубликована 1 статья.

Тема 2.9.6. Анализ изменений магнитных полей солнечных пятен в 11-ти летнем и вековом циклах активности.

Выполнен анализ долговременных измерений магнитного поля солнечных пятен по данным обсерватории Маунт Вилсон, на основе оцифровки напряженности магнитных полей B и площади ядер солнечных пятен и пор в период 1918-2014 гг. Проведено сопоставление с данными наблюдений магнитных полей Крымской астрофизической обсерватории в период 1957-2014 гг. и данными магнитографов SOHO/MDI и HMI/SDO. Показано, что на масштабе времени 100 лет, для больших пятен ($S > 20$ мдп) существенные долговременные изменения напряженности магнитных полей отсутствуют. Для малых пятен и пор в измерениях существуют артефакты, связанные с инструментальными эффектами. Анализ изменений напряженности магнитных полей пятен в цикле активности для пятен одинаковой площади не выявил изменений с фазой солнечного цикла.

Публикация: по данной теме в 2015 году была опубликована 1 статья.

Руководители проекта: Ю.А.Наговицын, А.Г.Тлатов (ГАО РАН),

Проект 2.10. Исследования процессов ускорения ионов и электронов в солнечных вспышках по результатам измерений рентгеновского и гамма-излучения в российско-американском эксперименте КОНУС-ВИНД и в экспериментах ГЕЛИКОН и ИРИС на солнечной обсерватории КОРОНАС-Ф.

Наличие во вспышечной петле флуктуаций магнитного поля с $\eta = \delta B/B = 10^{-3}$ приводит к существенному увеличению потока жесткого рентгеновского излучения (ЖРИ) из оснований магнитных петель в случае изотропного источника электронов и существенному усилению интенсивности ЖРИ в корональной части петли в случае анизотропного источника.

Развитие методов решения кинетического уравнения для функции распределения ускоренных электронов с учетом возможного процесса рассеяния на магнитных неоднородностях позволяет более полно рассмотреть динамику распространения электронов в магнитных полях активных областей во время солнечных вспышек.

Обработаны данные рентгеновского спектрометра Конуса-Винда для 6 солнечных вспышек. Проведено сравнение временных профилей в мягком рентгеновском излучении, полученных на спутнике GOES в двух каналах и Конус-Винде в трех каналах.

Разработана процедура для пакета XSPEC, позволяющая фитировать энергетические спектры моделью тормозного излучения электронов со степенным спектром в модели толстой мишени. Произведен спектральный анализ вспышек 2012-07-06 01:38:37.394 UT, 2012-08-18.

Проведены расчеты направленности и степени поляризации жесткого рентгеновского и гамма излучения солнечных вспышек из различных областей вспышечных петель на основе численного моделирования динамики ускоренных электронов, инжектированных в вершину петли. Рассмотрен вариант длительной инъекции ускоренных электронов.

Руководитель проекта: Чариков Ю.Е. (ФТИ им. Иоффе)

Публикации: по данному проекту в 2015 году опубликованы 3 статьи.

Проект 2.11. Выявление вклада естественных и антропогенных факторов в изменения глобального климата Земли, оценка возможных климатических последствий различных солнечно-космических явлений и разработка сценариев возможной эволюции климата Земли в 21-м веке на основе анализа инструментальных, исторических и палеоданных об изменении ряда природных характеристик.

Тема 2.11.1. Продолжительность текущего межледникового периода и межледниковые интервалы последнего миллиона лет.

Показано, что нынешний тёплый межледниковый период должен скоро закончиться.

Для понимания механизмов изменений климата важно исследовать закономерности колебаний орбитальных параметров Земли во времени и пространстве, а также циклический характер колебаний климата, его долговременные тенденции, колебания общей энергии солнечного излучения, включающего солнечную активность, связь с общей циркуляцией атмосферы и др. и установить связь между этими процессами.

В данной работе критически проанализированы имеющиеся данные по изменению орбитальных элементов Земли, солнечной инсоляции, изменению климата на шкале последних миллионов лет и обсуждена проблема продолжительности современного межледникового периода (голоцен). Получение детальной информации о закономерностях изменения климата на большой шкале времени связано с изучением ледниковых щитов Гренландии и Антарктиды и океанических отложений.

Подобными в астрономическом плане современному межледниковью аналогами являются межледниковья, приходящиеся на стадии около ~ 400 и ~ 800 тысяч лет назад, связанные

с изменением 400-летнего периода солнечной инсоляции, экстремум изменения которой имеет место в настоящее время. Эти три межледниковых интервала показывают довольно подобное широтное и сезонное распределение поступающего солнечного излучения и показывают общие черты в наклоне земной оси и главным образом в эксцентриситете, но отличаются по продолжительности. Наиболее длительным межледниковым периодом оказалось межледниковье, приходящееся на окрестность 400 тыс. лет назад. Установлено, что фаза между прецессией и наклоном оси между ними отличается. Анализ показал, что в целом, межледниковье, которое имело место в окрестности ~800 тыс. лет назад, является лучшим аналогом современного межледниковья. В таком случае нынешнее межледниковье должно скоро закончиться.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Тема 2.11.2. Природа долговременных корреляционных связей между состоянием облачности и вариациями потока галактических космических лучей.

Установлены связи между аномалиями нижней облачности и интенсивностью галактических космических лучей.

Исследована природа долговременных корреляционных связей между аномалиями нижней облачности и интенсивностью галактических космических лучей (ГКЛ), а также возможные причины изменения характера этих связей в начале 2000-х гг. Показано, что влияние ГКЛ на состояние облачности в умеренных широтах тесно связано с эффектами ГКЛ в вариациях интенсивности внутропического циклогенеза. Высокие значения коэффициентов положительной корреляции между нижней облачностью и потоками ГКЛ, наблюдавшиеся в 1983–2000 гг., обусловлены тем, что в указанный период увеличение потоков ГКЛ сопровождалось усилением циклонической активности в умеренных широтах. Возможной причиной нарушения корреляции между облачностью и потоками ГКЛ в начале 2000-х гг. является обращение знака эффектов ГКЛ в развитии внутропических барических образований в связи с изменением состояния стратосферного циркумполярного вихря.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Тема 2.11.3. Оценка влияния изменений поверхностной температуры на концентрацию радиоуглерода на различных временных интервалах.

а) Оценены температурные коэффициенты, определяющие скорость перехода радиоуглерода из океана в атмосферу Земли с момента окончания последнего оледенения до начала современного межледниковья.

Радиоуглеродные данные в природных архивах содержат информацию не только об изменении интенсивности галактических космических лучей в прошлом, но также и о климатических изменениях. В связи с этим встает вопрос об адаптации моделей, описывающих обмен ^{14}C между природными резервуарами, для разделения космического и климатического влияния на радиоуглеродные данные.

В работе рассмотрен временной интервал с 17000 лет до нашей эры до – 10000 лет до нашей эры (наступление межледникового периода). Этот временной интервал характеризуется окончанием последнего ледникового периода и началом Голоцена. Особенностью данного временного интервала является продолжительный рост глобальной температуры и концентрации CO_2 в земной атмосфере. При этом, происходит перераспределение CO_2 (в том числе $^{14}\text{CO}_2$) между океаном и атмосферой. В результате численного моделирования получены возможные значения для температурного коэффициента, определяющего скорость перехода изотопа ^{14}C из океана в атмосферу Земли.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

б) Оценены температурные коэффициенты, определяющие скорость перехода радиоуглерода из океана в атмосферу Земли с 1511 по 1945 год.

Рассмотрено возможное влияние вариаций приземной температуры на концентрацию радиоуглерода в атмосфере Земли в 1511-1945 гг. Показано, что согласие расчётной и экспериментальной кривых по $\Delta^{14}\text{C}$ улучшается при учёте влияния вариаций температуры на (а) скорость обмена радиоуглеродом между атмосферой и океаном (б) атмосферное значение CO_2 .

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Тема 2.11.4. Поведение солнечной активности во время Маундеровского минимума

Выделены возможные циклы в Маундеровский минимум солнечной активности.

Применяя статистику активных дней, исследовано поведение солнечной активности во время Маундеровского минимума (1645-1715), определен верхний предел на уровень активности и выделены возможные циклы активности.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Руководитель проекта: В.А.Дергачёв (ФТИ им. Иоффе).

Проект 2.12. Исследование ультратонких хромосферных петель и их вспышечной активности.

Тема 2.12.1. Исследование ультратонких хромосферных петель и их вспышечной активности.

Обнаружение ультратонких компактных горячих магнитных петель в хромосфере позволяет предполагать, что хромосфера играет существенную роль в солнечной активности, в частности, в нагреве короны. Эти петли простираются до основания короны и могут служить одним из источников коронального нагрева.

Дана оценка собственных частот колебаний ультратонкой магнитной петли как эквивалентного электрического контура и указана возможная причина выбросов горячей плазмы из оснований петель.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Тема 2.12.2. Кинетическое описание трехмерных магнитосфероподобных структур в расширяющихся горячих плазменных коронах над магнитоактивными областями.

Магнитосфероподобные (корональные) структуры – универсальные крупномасштабные объекты плазменной астрофизики и солнечно-земной физики, образованные квазистационарными и нестационарными высокоскоростными потоками плазмы. Как правило, описание таких структур развивается в рамках 2D МГД приближения, предполагающего локальность материальных связей.

Мы обращаем внимание на то, что корональные структуры часто существуют при высокой температуре и являются бесстолкновительными, что требует развития их кинетического описания. В кинетическом описании особенности горячей короны обусловлены возбуждением диамагнитной и резистивной компонент плотности индукционного тока. В трехмерном кинетическом описании размеры корональных структур выражаются через масштабы пространственной дисперсии кинетической природы, которые характеризуют нелокальность материальных связей в короне и которые отсутствуют в МГД описании.

Представлены три задачи физической кинетики корональных структур, соответствующие предельным значениям величин э.м. добротности потока G , зависящего от функции распределения частиц потока. Это трехмерная структура отдельного стримера и его топологическая перестройка при изменениях добротности G от $G \ll 1$ до $G \gg 1$, двумерная

структура пояса взаимодействующих корональных стримеров в гелиосферном диске ($G \gg 1$) и импульсная электродинамика одномерного горячего слоя токонесущей плазмы, самосогласованная с токами ускоряемых в ней частиц ($G = -1$).

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

Руководитель проекта: В.В.Зайцев (ИПФРАН).

Проект 2.13. Глобальные комплексы активности и соотношение магнитных полей различных пространственных масштабов.

Тема 2.13.1. Предложен наблюдательный тест по выявлению действия мелкомасштабного солнечного динамо в глубине солнечной конвективной зоны по статистике групп солнечных пятен, нарушающих правило полярности Хейла. Этот тест реализован и подтвердил существование мелкомасштабного динамо в глубинах конвективной зоны, что ранее подвергалось сомнению в работах Стенфлю.

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

Тема 2.13.2. Предложена новая концепция Глобальных комплексов активности, заключающаяся в объединении в рамках единого понятия объектов глобальных и локальных полей.

Традиционно в течение многих лет комплексы активности определялись только на основе наблюдений активных областей. Показано, что Глобальный комплекс включает в себя Корональные дыры и Активные области. Для анализа использовался большой набор данных наблюдений магнитного поля разных пространственных масштабов, наблюдения активных областей и магнитных полей SOHO MDI, наблюдения корональных дыр в ультрафиолетовом диапазоне. Показана общность эволюции корональных дыр и активных областей в едином комплексе. Обсуждается проблема связи полей разных масштабов в процессе генерации цикла.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Тема 2.13.3. Завершено исследование северо-южной асимметрии солнечной активности при использовании нового подхода, когда асимметрия рассматривается как суперпозиция двух функций – знака асимметрии и ее модуля (абсолютного значения). Показано, что знак асимметрии определяет ее основные характеристики - временной ход и наличие в ней квазидвухлетних колебаний. Общий временной ход знака асимметрии рассмотрен как последовательность монохромных интервалов. Рассмотрена статистика этих интервалов и

показано, что их поведение во времени характеризует поведение самой асимметрии. Абсолютные значения асимметрии (модуль) характеризуются строгой цикличностью с периодом 11 лет, схожим с числами Вольфа со сдвигом в полцикла. Показано, что модуль асимметрии обладает прогностическими возможностями – чем больше значение модуля асимметрии в минимуме цикла активности, тем ниже следующий цикл.

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья и 1 статья находится в печати.

Тема 2.13.4. Предложен и обоснован новый механизм ускорения частиц в солнечном ветре до энергий порядка 1-1.5 МэВ, который способен объяснить часто наблюдающиеся нетипичные всплески интенсивности потока энергичных протонов и электронов на околоземной орбите [1-6], не связанные со вспышками или ускорением частиц на ударных волнах.

Показано, что подобные случаи связаны с пересечением областей, заполненных мелкомасштабными магнитными островами ($l \sim 0.01-0.001 a.e.$) и ограниченных магнитными стенками, представляющими собой токовые слои разного масштаба и формы. В соответствии с предложенной теорией, динамические процессы в магнитных островах (такие как их слияние или сжатие) приводят к локальному ускорению частиц, имеющих до этого лишь небольшое предускорение. Такое изначальное ускорение может являться следствием стандартных механизмов придания частицам дополнительной энергии, а также следствием магнитного пересоединения в токовых слоях, в частности, в гелиосферном токовом слое (ГТС) или его окрестности – плазменном слое.

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликовано 9 статей.

Руководители проекта: В.Н. Обридко, В.Д. Кузнецов (ИЗМИРАН).

Проект 2.14. Исследование геоэффективности крупномасштабных структур солнечного ветра.

Тема 2.14.1. Исследование геоэффективности крупномасштабных структур солнечного ветра.

а) Исследовано временное поведение параметров в возмущенных типах течения солнечного ветра.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

б) Исследована зависимость временного хода магнитной бури от типа солнечного ветра

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

в) Исследована зависимость насыщения потенциала полярной шапки от типа солнечного ветра.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Руководитель проекта: Ермолаев Ю.И. ИКИ РАН.

Тема 2.14.2. Построение и анализ МГД модели разрывных структур солнечного ветра, вызывающих генерацию плазменных неоднородностей в окрестности магнитосферы Земли.

На примере взаимодействия солнечного вращательного разрыва с носовой ударной волной и магнитослоем впервые доказана возможность возникновения уплотнённой плазменной неоднородности типа «плато» внутри магнитослоя перед магнитосферой Земли.

На основе рассмотрения множества данных космических аппаратов типа ISEE, THEMIS, CLUSTER и GOES можно утверждать наличие в солнечном ветре крупномасштабных (при характерном размере, большим протонного радиуса Лармора) магнитогидродинамических разрывных структур, связанных с часто наблюдаемыми разрывами направления, при переходе через которые скачком меняется направление магнитного поля. К этим разрывам относятся стационарные тангенциальные разрывы и нестационарные вращательные разрывы (A), бегущие по потоку солнечного ветра МГД и возмущающие систему головная ударная волна – магнитосфера.

Взаимодействие A с головной ударной волной (ГУВ) Земли может приводить к возникновению в магнитослое различного вида вторичных волн и неоднородностей, которые сопровождаются изменением величины плотности частиц, магнитного поля и динамического давления в магнитослое. Изучение таких неоднородностей представляет интерес, так как сопровождающее их повышенное давление вызывает смещение магнитопаузы к Земле, а некоторые вторичные волны заставляют фронт ГУВ двигаться по направлению к Солнцу.

Важно обратить внимание на зависимость механизма возникновения МГД волн в магнитослое от интенсивности и ориентации вращательного разрыва, приходящего со стороны солнечного ветра. Таким образом, представляет интерес рассмотреть взаимодействие солнечных вращательных разрывов с системой *носковая ударная волна – магнитослой – магнитосфера Земли* при различных параметрах солнечного ветра и

вращательного разрыва и, главное, при различных направлениях межпланетного магнитного поля.

Руководитель темы: д.ф.-м.н. в.н.с. Сергей Анатольевич Гриб, ГАОРАН, e-mail: sagrib@gmail.com

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликованы 4 статьи.

Проект 2.15. Эруптивные явления на Солнце и их роль в формировании космической погоды.

Тема 2.15.1. Особенности солнечных волокон в магнитном поле.

Сопоставление формы солнечных волокон с проекцией участков нейтральной поверхности потенциального магнитного поля короны в определенном интервале высот показало, что вещество волокон концентрируется в основном вблизи нейтральной поверхности потенциального поля. Сечения нейтральной поверхности горизонтальной плоскостью служат линиями раздела полярностей (ЛРП) вертикального поля на данной высоте. В проекции на диск, нижний край волокна с выступающими по бокам промежуточными "ножками" (barbs) обрисовывается ЛРП на малой высоте, а верхний край касается высокой ЛРП. Все вещество волокна заключено в пространстве между этими двумя линиями. Эту корреляцию можно использовать для определения высоты верхнего края волокон над фотосферой при наблюдениях только на диске. Примеры, в которых волокна наблюдались одновременно аппаратами STEREO в ортогональной проекции как протуберанцы на лимбе, показывают вполне удовлетворительную точность такого метода.

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

Тема 2.15.2. Оценка рентгеновского балла солнечных вспышек.

Разработан простой способ оценки рентгеновского балла солнечных залимбовых вспышек, наблюдаемых на КА STEREO-A и B. При солнечных вспышках рентгеновских классов C и выше на изображениях телескопа STEREO/EUVI в канале 195 Å возникает эффект перегрузки – полоска насыщения, ориентированная под небольшим углом к направлению восток-запад. Максимальная длина этой артефактной полоски (L) может быть использована для решения актуальной проблемы – оценок потока мягкого рентгеновского излучения и соответствующего балла вспышек, невидимых с Земли, но наблюдаемых с аппаратов STEREO

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Тема 2.15.3. Поведение плотности космических лучей в магнитном облаке у Земли.

Показано, что в большинстве случаев поведение плотности космических лучей в магнитном облаке у Земли можно описывать простой параболической зависимостью от расстояния от центра магнитного облака, измеренного в гирорадиусах. Как правило, в магнитном облаке плотность космических лучей уменьшается, но есть группа событий (приблизительно 1/5 часть) в которых в магнитном облаке плотность космических лучей возрастает. В значительной части событий изменения плотности КЛ внутри магнитного облака дают почти симметричную картину, с минимумом плотности у центра облака, позволяя предполагать его квазицилиндрическую структуру. Достаточно часты также события, в которых поведение плотности КЛ, оставаясь регулярным, становится более сложным, с чередованием областей с повышенной и пониженной плотностью. Это может быть проявлением квазиторoidalной структуры некоторых магнитных облаков.

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликованы 3 статьи.

Руководители проекта: В.В.Фомичев, А.В.Белов (ИЗМИРАН).

Проект 2.16. Физические процессы в атмосфере Солнца: плазменные неустойчивости, МГД-волны, нагрев плазмы и электромагнитное излучение.

Тема 2.16.1. Ускорение частиц и нагрев плазмы в хромосфере Солнца

Предложен механизм ускорения частиц и нагрева хромосферы *in situ*, на основе неустойчивости Рэлея-Тейлора в магнитном поле. Неустойчивость развивается в хромосферных основаниях корональных магнитных арок и деформирует магнитное поле. Электрический ток в арке меняется и появляется индукционное электрическое поле. Импульс электрического поля вместе с импульсом электрического тока распространяется вверх с альфвеновской скоростью и ускоряет электроны до энергии ~ 1 МэВ. Ускоренные электроны термализуются в плотной плазме с $n \geq 10^{14}$ см⁻³, нагревая её до $T \geq 10^6$ К. Джоулева диссипация импульса электрического тока нагревает слои хромосферы, соответствующие $n \approx 10^{11}-10^{13}$ см⁻³. При токе $\geq 10^{11}$ А электрическое поле на фронте импульса превышает поле Драйзера.

Публикация: по данной теме в 2015 году опубликована 1 статья.

Тема 2.16.2. Определение характера анизотропии ускоренных электронов по распределению круговой поляризации микроволнового излучения во вспышечной петле.

Обнаружено явление пространственной и временной инверсии знака степени поляризации микроволнового излучения, связанное с появлением во вспышечной петле источника излучения, поляризованного в обыкновенной моде. Установлено, что обнаруженное явление обусловлено формированием продольной анизотропии нетепловых электронов в верхней части вспышечной петли.

Объектом исследования является вспышка 19 июля 2012 г

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

Тема 2.16.3. Тепловой тормозной механизм генерации суб-ТГц излучения солнечной вспышки.

Впервые обнаружен рост спектра суб-ТГц излучения солнечных вспышек в ранее неисследованном диапазоне 90-200 ГГц по данным радиотелескопа МГТУ им. Баумана РТ-7.5 в событии 4 июля 2012. Предложен тепловой тормозной механизм генерации суб-ТГц излучения оптически толстой хромосферной плазмы в данном событии на основе мультиволновых данных наблюдений в радио, оптическом, ультрафиолетовом, рентгеновском диапазонах и теоретического моделирования радиоизлучения.

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

Тема 2.16.4. Признаки подготовки больших вспышек.

На ряде конкретных эруптивных событий на Солнце выявлены признаки подготовки больших вспышек (классов >M5.0 и X), проявляющиеся одновременно в микроволновом диапазоне и магнитографических характеристиках активной области, в частности, синхронный рост градиента магнитного поля и интенсивности микроволнового источника над областью максимального градиента магнитного поля в течение нескольких дней перед вспышкой.

Выявлены следующие признаки подготовки вспышек класса X:

- 1) За двое суток до вспышек вблизи ранее существовавших пятен зарегистрировано всплытие магнитного поля противоположной полярности;
- 2) Перед вспышками отмечено резкое возрастание градиента магнитного поля в АО;
- 3) Перед вспышками развился микроволновый источник над областью максимального градиента магнитного поля;
- 4) Эволюция развившихся микроволновых источников подобна эволюции градиента магнитного поля в АО в течение нескольких дней перед вспышкой

Полученные результаты важны для развития методов прогноза больших солнечных вспышек, в особенности геоэффективных, воздействующих на околоземное пространство и земную атмосферу.

Публикации: по данной теме в 2015 году опубликованы 2 статьи.

Руководитель проекта: А.В.Степанов (ГАОРАН).

Проект 2.17. Физика магнитосфер активных областей в переходной области хромосфера-корона и нижней короны Солнца по микроволновым наблюдениям.

Тема 2.17.1. Автоматизированный метод диагностического моделирования атмосферы Солнца.

Разработан метод диагностического моделирования, который позволяет построить адекватную модель изменения электронной температуры и плотности с высотой для наблюдаемого солнечного микроволнового источника с преобладающим циклотронным излучением.

Были использованы многоволновые спектрально-поляризационные наблюдения на РАТАН-600, на основе которых построены симметричные плоскопараллельные модели высотного изменения температуры и плотности электронов. Применен новый быстрый алгоритм решения уравнения переноса излучения, что позволило автоматизировать подбор высотных распределений температуры и плотности электронов.

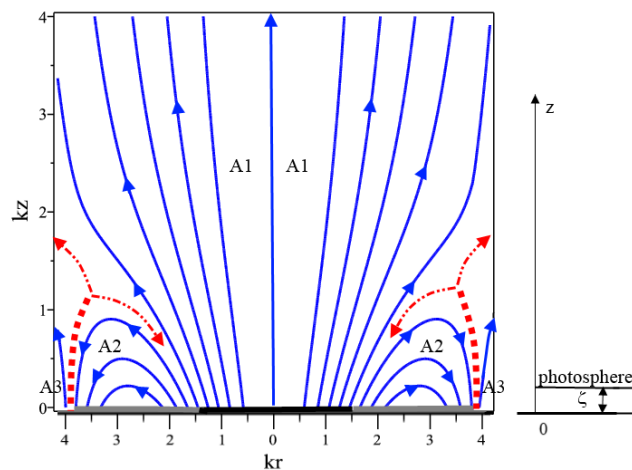
Примененный метод диагностического моделирования позволяет построить адекватную модель изменения электронной температуры и плотности с высотой для наблюдаемого микроволнового источника с преобладающим циклотронным излучением. Совместные наблюдения на РАТАН-600 и VLA позволили получить более подробное представление о структуре активной области, характеристиках ее малых (пятенных) и больших (флоккульных) компонент разной физической природы и механизмов излучения, а также о динамике изменения этих характеристик.

Руководитель проекта: В.М.Богод (САО РАН).

Подготовлена 1 публикация.

Проект 2.18. Ускорение заряженных частиц, нагрев плазмы в нестационарных процессах на Солнце и новые физические модели активных образований.

Предложена трехпотоковая структура магнитного поля солнечного пятна, позволяющая объяснить формирование межпятенных радиоисточников, а также дать адекватное аналитическое описание наблюдаемых слоев солнечного пятна.



Магнитная структура солнечного пятна: потоки A1, A2 и A3. Толстый пунктир – сепаратриса между A2 и A3. Тонкие штрих-пунктирные стрелки – направления движения заряженных частиц, ускоренных в области магнитных пересоединений. Частицы, идущие к центру пятна, дают обратный эффект Эвершеда в хромосфере, идущие от пятна – формируют межпятенные радиоисточники в вершинах коротких и низких магнитных петель, соединяющих пятна противоположной полярности. Шкала высот в пятне сдвинута от фотосферы вниз на 500 км, на глубину Вильсоновской депрессии: $h = \zeta$.

Руководитель проекта: А.А.Соловьёв (ГАО РАН).

Публикации: по данному проекту в 2015 году опубликовано 11 статей.

Проект. Диагностика динамики фотосферных магнитных полей методами современной теории случайных полей

Разработаны методы диагностики предвспышечной динамики магнитных полей АО средствами вычислительной топологии и дифференциальной геометрии.

Проект посвящен разработке мультимасштабных подходов для извлечения и анализа геометрических, топологических и скейлинговых характеристик наблюдаемых полей из цифровых изображений.

Руководитель проекта: Макаренко Н.Г. ГАОРАН. ng-makar@mail.ru

Публикации: по данному проекту в 2015 году опубликовано 4 статьи и сделано 7 докладов.

Проект. Доказательство ускорения солнечных космических лучей во вспышечном токовом слое и механизм их распространения в межпланетной среде.

Около 30% больших вспышек (класса X и еще реже класса M) сопровождается потоком релятивистских протонов. Часть протонов попадает на Солнце и вызывает ядерные реакции, а другая часть распространяется в межпланетной среде. Несмотря на многолетние усилия, релятивистские вспышечные протоны продолжают оставаться наименее изученным проявлением вспышки

Выводы.

1. Анализ измерений на нейтронных мониторах и на аппаратах GOES позволяет утверждать, что большие протонные события генерируются токовым слое во время вспышки. Четкая корреляция малых протонных событий с конкретными вспышками не обнаружена. По-видимому, малые события генерируются вспышками на обратной стороне Солнца.
2. Для ускорения протонов в ударных волнах необходимо, чтобы ларморовский радиус частицы превосходил толщину фронта ударной волны. Это условие делает невозможным генерацию релятивистских солнечных протонов ударными волнами в межпланетной среде.
3. Потоки протонов солнечных космических лучей обнаруживают четыре характерных масштаба времени:
 - а). Длительность генерации ускоренных протонов равна длительности вспышки $t_{SF} \sim 20-30$ мин.
 - б). Типичная длительность потока ускоренных протонов на орбите Земли равна времени распространения солнечного ветра $t_{sw} = 1 \text{ a.u.} / V_{sw} \sim 3$ суток. Это значит, что наиболее запаздывающие протоны оказываются захваченными магнитным полем солнечного ветра и приходят к Земле поперек магнитного поля со скоростью солнечного ветра.
 - в). Запаздывание прихода крутого фронта потока релятивистских протонов, генерируемого Западной вспышкой, к орбите Земли $t_F = 15 - 20$ мин. определяется пролетным временем протонов вдоль линий спирали Архимеда $\sim 1.5 \text{ a.u.} / c$. Бесстолкновительный поток протонов вдоль спиральной линии магнитного поля несет информацию о спектре вспышечных протонов, который по данным нейтронных мониторов имеет экспоненциальный вид.
 - д). Фронт потока протонов от Восточных вспышек никогда не бывает крутым. Приход пологого (~ 1 суток) фронта потока релятивистских протонов от Восточной вспышки к орбите Земли с запаздыванием $t_D \sim 3 - 5$ часов может быть связан с диффузией поперек

поля при рассеянии протонов на магнитных неоднородностях. Диффузионный поток опережает поток солнечного ветра.

4. Протонные события от восточных вспышек регистрируются на порядок величины реже, чем от западных вспышек. Это связано с отсутствием линий магнитного поля, соединяющих восточную вспышку с околоземным пространством.

Участники группы: А. И. Подгорный (ФИАН), И. М. Подгорный (ИНАСАН).

Публикации: по данному проекту в 2015 году опубликовано 5 статей.