

УТВЕРЖДАЮ:

директор ИКИ РАН
академик РАН

« » 2015 года



Зеленый Л.М./

М.П.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

научно технического совета отдела 54
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

Диссертация Шарыкина Ивана Николаевича на тему «Исследование энерговыделения солнечных вспышек по многоволновым пространственно-разрешенным наблюдениям» выполнена в отделе 54 Института космических исследований Российской академии наук.

В 2012 году соискатель окончил факультет прикладной физики и энергетики Московского физико-технического института по специальности «прикладные математика и физика». В 2015 году соискатель окончил очную аспирантуру ИКИ РАН по специальности «физика Солнца». В период подготовки диссертации соискатель работал в Институте космических исследований РАН в должности младшего научного сотрудника.

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2015 году Институтом космических исследований РАН.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук Струминский Алексей Борисович, ведущий научный сотрудник отдела 54 Института космических исследований РАН.

По результатам рассмотрения диссертации «Исследование энерговыделения солнечных вспышек по многоволновым пространственно-разрешенным наблюдениям» принято следующее заключение:

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Шарыкина Ивана Николаевича посвящена исследованию солнечных вспышек на основе анализа пространственно-разрешенных наблюдений Солнца в различных диапазонах электромагнитного спектра.

Наибольшее количество информации о процессах, происходящих во время солнечных вспышек, получают из анализа электромагнитного излучения. Солнечные вспышки проявляют себя во всех диапазонах электромагнитного спектра, причем различные диапазоны ЭМ спектра дают нам информацию о различных физических процессах. Большая часть электромагнитного излучения может регистрироваться только в космосе. Поэтому наиболее полную информацию о солнечных вспышках получают по наблюдениям Солнца космическими обсерваториями. Благодаря современным наблюдениям космических и наземных обсерваторий многоволновые исследования солнечных вспышек являются передним краем развития солнечной физики.

На сегодняшний день рассматривается множество различных моделей солнечных вспышек, в рамках которых первоначальное энерговыделение происходит в корональных токовых слоях при различной геометрии магнитного поля. Однако наиболее популярной и обсуждаемой моделью является модель эруптивной двухленточной солнечной вспышки. В рамках стандартной модели предполагается существование магнитного жгута, вытянутого вдоль линии инверсии полярности магнитного поля, который теряет устойчивость, начинает

подниматься во внешнюю корону и затем улетает в межпланетное пространство в виде коронального выброса массы. Под эруптирующим магнитным жгутом происходит формирование токового слоя, где в результате магнитного пересоединения происходит ускорение заряженных частиц (первоначальное вспышечное энерговыделение) и нагрев плазмы. Ускоренные электроны достигают плотных слоев солнечной атмосферы и нагревают плазму, которая затем расширяется (хромосферное испарение) и заполняет магнитные петли.

Соискателем в диссертации акцентируется внимание на наблюдениях сверхгорячей плазмы, роли мелкомасштабной структуры вспышечной области и роли электрических токов во вспышечном энерговыделении. Данные вопросы на сегодняшний день являются плохо изученными и обычно не рассматриваются при интерпретации наблюдательных данных солнечных вспышек в рамках стандартной модели.

Содержание работы

В рамках стандартной модели распределение температуры плазмы во вспышечной области полностью определяется процессом хромосферного испарения. Однако в недавних исследованиях было показано, что в некоторых вспышках наблюдается сверхгорячая вспышечная плазма, с характерной температурой более 30 МК, что выше значений температур, вычисляемых для большого числа других солнечных вспышек. Скорее всего, формирование сверхгорячей плазмы связано с первоначальным энерговыделением, поэтому ее исследование представляет особый интерес для понимания процесса начального нагрева плазмы и ускорения заряженных частиц в корональных токовых слоях. Исследованию сверхгорячей плазмы посвящены первая и вторая главы. В первой главе приводятся исследования сверхгорячей плазмы, наблюдаемой в мощной эруптивной солнечной вспышке X класса. Во второй главе приводятся количественные исследования связи термодинамических параметров сверхгорячей плазмы с параметрами степенного спектра ускоренных электронов на примере слабой C вспышки.

При исследовании энерговыделения солнечных вспышек необходимо иметь представление о мелкомасштабной структуре вспышечной области, так как расчет энерговыделения зависит от геометрических параметров магнитных петель. Мелкомасштабная структура магнитных петель оказывает влияние на расчет плотности ускоренных электронов в пучке и их распространение в плазме. Плотность электрического тока, текущего вдоль магнитных силовых линий зависит от поперечных размеров токовых трубок. Однако для описания вспышечного процесса обычно используется модель вспышечной области без учета филаментации вспышечного объема. В третьей главе диссертации приводятся исследования пространственной мелкомасштабной структуры вспышечной области на основе уникальных наблюдений оптического телескопа NST в составе обсерватории BBSO. Делаются оценки плотности потока ускоренных электронов в условиях филаментации вспышечного объема, где происходит энерговыделение. Кроме этого обсуждается роль диссипации электрических токов с учетом мелкомасштабной пространственной структуры.

В стандартной модели нагрев плазмы во всей вспышечной области осуществляется за счет кулоновского взаимодействия плазмы с ускоренными заряженными частицами. Одним из дополнительных источников нагрева вспышечной плазмы может являться диссипация электрических токов, генерируемых в активной области, которая игнорируется в стандартной модели. Если энерговыделение реализуется в плотных слоях солнечной атмосферы, где плазма находится в частично ионизованном состоянии, то диссипация электрических токов может вносить существенный вклад в общий энергетический баланс за счет меньшей электрической проводимости. В четвертой главе диссертации описываются исследования роли электрических токов во вспышечном энерговыделении на пример солнечной вспышки C

класса, в которой также наблюдалось гелиосейсмическое возмущение. В главе рассматривается вклад диссипации электрических токов в общий энергетический баланс солнечной вспышки, и сравнивается месторасположение области усиленных электрических токов с источниками излучения в различных диапазонах электромагнитного спектра. Также обсуждается возможность генерации гелиосейсмического возмущения за счет диссипации электрических токов.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Научные исследования, описываемые в диссертации, были выполнены автором самостоятельно или при его непосредственном участии. Отбор солнечных вспышек и анализ данных наблюдений был полностью проведен лично соискателем. Постановка задач и интерпретация результатов анализа наблюдательных данных осуществлялась соискателем вместе с научным руководителем и соавторами работ.

Научная новизна результатов исследования

В диссертационной работе используются самые современные данные наблюдений солнечных вспышек с лучшим пространственным разрешением в различных диапазонах электромагнитного спектра. На основе многоволновых наблюдений солнечных вспышек автором диссертации впервые показана связь между динамикой спектра ускоренных электронов и термодинамическими параметрами сверхгорячей плазмы по результатам анализа рентгеновских спектров RHESSI. С помощью уникальных наблюдений оптического 1.6 м телескопа NST/BBSO впервые показана тонкая структура вспышечных лент и ее влияние на вспышечное энерговыделение. Соискателем впервые было зафиксировано и исследовано гелиосейсмическое возмущение в слабой вспышке С класса. Исследована роль электрических токов в генерации гелиосейсмического возмущения по результатам анализа наблюдений HMI/SDO.

Практическая значимость и ценность исследования

Проведенные исследования важны для понимания фундаментальной природы солнечных вспышек, являющихся одним из основных факторов, влияющих на космическую погоду. Представленные результаты диссертационной работы могут быть использованы в других работах, посвященных как наблюдательным, так и теоретическим исследованиям физики солнечных вспышек.

Основные результаты, выносимые на защиту

1. Исследована динамика сверхгорячей плазмы (>30 МК) в эруптивной солнечной вспышке Х класса и неэруптивной однопетлевой солнечной вспышке С класса. Показано, что для выполнения энергетического баланса и формирования сверхгорячей плазмы во вспышечной области в обоих случаях необходимо рассматривать подавленную на порядок теплопроводность по сравнению с классическим значением.
2. Анализ тепловой и нетепловой компонент рентгеновских спектров солнечной вспышки показал, что динамика термодинамических параметров сверхгорячей плазмы связана с параметрами степенного спектра ускоренных электронов. Это свидетельствует о

формировании популяции ускоренных электронов со степенным спектром из популяции тепловых электронов сверхгорячей плазмы.

3. Выявлена тонкая структура вспышечных лент по Na наблюдениям телескопа NST обсерватории BBSO. Показано, что вспышечные ленты организованы в виде тонкой цепочки уярчений с характерным размером ~100 км. Формирование таких уярчений может быть связано с диссипацией электрических токов в нижних слоях солнечной атмосферы.
4. Впервые наблюдалась гелиосейсмическое возмущение во вспышке C класса. Показано, что гелиосейсмическое возмущение в этом событии могло быть сформировано в нижних слоях солнечной атмосферы за счет диссипации электрических токов.
5. На основе многоволновых наблюдений солнечных вспышек подтверждено, что первоначальное энерговыделение солнечных вспышек может развиваться не только в короне, но и в нижних слоях солнечной атмосферы.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений так как соискателем в диссертации использовались данные наблюдений Солнца, выполненные широко известными научными приборами и телескопами. Обработка данных осуществлялась с помощью широко распространенного пакета программ Solar Soft, созданного на базе языка программирования IDL. Результаты обработки данных наблюдений согласуются с теоретическими оценками.

Основные результаты диссертационной работы были представлены соискателем на семинарах в различных зарубежных и Российских лабораториях. Все положения, выносимые на защиту, подтверждены соответствующими публикациями в рецензируемых отечественных журналах из перечня ВАК и зарубежных журналах, цитируемых в международных базах данных, таких как Scopus, Web Of Science и NASA ADS.

Список основных публикаций:

1. Sharykin I.N., Kosovichev A.G., *Fine structure of flare ribbons and evolution of electric currents* // The Astrophysical Journal Letters, Vol. 788, L18(7pp), 2014.
2. Sharykin I.N., Liu S., Fletcher L., *Onset of Electron Acceleration in a Flare Loop* // The Astrophysical Journal, Vol. 793, 25, 2014.
3. Шарыкин И.Н., Струминский А.Б., Зимовец И.В. *Нагрев плазмы до сверхвысоких температур (>30 МК) в солнечной вспышке 9 августа 2011 года* // ПАЖ, том 41, 1-15, 2015.
4. Sharykin I. N., Kosovichev A. G., Zimovets I. V. *Energy Release and Initiation of Sunquake in C-class Flare* // Astrophys. J., Vol. 807, 9 pp., 2015.

Другие работы соискателя:

5. Zimovetz I.V., Vilmer N., Chian A. C.-L., Sharykin I.N., Struminsky A.B., *Spatially resolved observations of a split-band coronal type II radio burst* // Astronomy & Astrophysics, Vol. 547, 13, 2012.
6. Шарыкин И.Н., Струминский А.Б., Зимовец И.В. *Энергетика и морфология мощных импульсных вспышек* // ПАЖ, том 38: с. 1-10, 2012.

7. Sharykin I. N., Kosovichev A. G. *Dynamics of Electric Currents, Magnetic Field Topology and Helioseismic Response of a Solar Flare // Astrophys. J., Vol. 808, 9 pp, 2015.*
8. Sadykov V. M., Vargas-Dominguez S., Kosovichev A.G., Sharykin I. N., Struminsky A.B., Zimovets I.V., *Analysis of IRIS and NST observations of the 12.06.2014 flare event, The Astrophysical Journal, Vol. 805, 167 (15 pp), 2015.*
9. Sharykin I.N., Struminsky A.B., Zimovets I.V. Gan W. *Solar flares with similar soft but different hard X-ray emissions: case and statistical studies*, принята к печати в журнал Research in Astronomy and Astrophysics, 2015.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности 01.03.03. - «физика Солнца»

Задачи, рассмотренные в диссертации, относятся к классу, заявленному в паспорте специальности 01.03.03. - «физика Солнца».

ВЫВОД

На основании вышеизложенного следует, что в диссертации Шарыкина Ивана Николаевича представлены новые научные результаты в рамках актуальной и современной темы физики Солнца. Тематика исследований соответствует специальности «физика Солнца», а диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемые содержанию диссертационной работе на соискание степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование энерговыделения солнечных вспышек по многоволновым пространственно-разрешенным наблюдениям» Шарыкина Ивана Николаевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 "физика Солнца".

Зав. отделом 54 ИКИ РАН
д. ф.-м.н., чл. корр. РАН



Петрукович А. А.