



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИСЗФ СО РАН,
член-корреспондент РАН

А.П. Потехин

«29» октября 2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации И.Н. Шарькина
«Исследование энерговыделения солнечных вспышек по многоволновым
пространственно-разрешенным наблюдениям»

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.03 – Физика Солнца

Диссертация И.Н. Шарькина посвящена исследованию солнечных вспышек с использованием одновременных наблюдений различных инструментов в различных спектральных диапазонах. Солнечные вспышки и связанные с ними корональные выбросы массы являются основным фактором, влияющим на состояние околоземного космического пространства – космическую погоду. Вместе с тем, природа солнечных вспышек пока что остается во многом непонятной. Основная причина сложившейся ситуации состоит в том, что вспышка представляет собой крайне сложный комплекс взаимосвязанных процессов, протекающих на различных пространственных и временных масштабах. Поэтому исследование вспышек требует взаимодополняющих наблюдений с высоким временным и пространственным разрешением, отражающих характеристики плазмы, магнитного поля и ускоренных частиц в активной области. В последнее время были введены в строй новые инструменты (как наземные, так и космические), представляющие беспрецедентные возможности для наблюдений Солнца. Однако полная реализация этих возможностей требует совместного использования наблюдений различных инструментов и использования современных средств обработки данных; при интерпретации наблюдений необходимо учитывать последние теоретические достижения физики плазмы и физики солнечных вспышек. Таким образом, диссертационная работа И.Н. Шарькина безусловно является актуальной.

В диссертации приведен детальный анализ четырех солнечных вспышек (по вспышке в каждой главе). Используются наблюдения в рентгеновском, ультрафиолетовом, оптическом и радио диапазонах. Основной задачей является исследование процесса энерговыделения во вспышках, хотя в каждом конкретном случае делается упор на различные аспекты и проявления этого процесса. Помимо самих наблюдений, приведена их интерпретация в рамках стандартной модели вспышек (и обсуждаются возможные отклонения от стандартной модели); приведены оценки

параметров плазмы, ускоренных частиц и электрических токов во вспышечных областях. Хотя работа построена по принципу case study (исследование отдельных случаев), все ее части, с одной стороны, объединены общей тематикой; с другой стороны, нет повторяющихся и дублирующих друг друга исследований.

Диссертация состоит из раздела «Инструментарий», Введения, четырех глав, Заключения и трех приложений.

В первой главе исследуется солнечная вспышка класса X6.9 9 августа 2011 г. Особенностью этой вспышки была аномально высокая температура плазмы – до 32.5 МК (по данным GOES). Вспышка исследуется с помощью рентгеновских наблюдений RHESSI и GOES и ультрафиолетовых наблюдений инструментов AIA и EVE на борту SDO. Сделан вывод, что рентгеновский спектр соответствует комбинации двух тепловых источников с температурами 20 и 39 МК, а также нетепловой составляющей. Показано, что области, занятые плазмой с разными температурами, пространственно не совпадают – сверхгорячая плазма находится выше, т.е., по-видимому, в области первичного энерговыделения. Дальнейшие наблюдения подобных сверхгорячих вспышек могут быть интересны с точки зрения диагностики процессов энерговыделения.

Во второй главе исследуется солнечная вспышка 12 августа 2002 г. Данная вспышка также отличалась высокой температурой (более 30 МК, по данным RHESSI), но была относительно слабой (класса C1.4). Используются рентгеновские наблюдения RHESSI и GOES, ультрафиолетовые наблюдения SOHO/EIT и микроволновые наблюдения инструментов обсерватории Нобеяма. Определены характеристики горячей плазмы и ускоренных электронов. В отличие от предыдущей главы, ускорение частиц и нагрев плазмы интерпретируются в рамках модели стохастического ускорения.

В третьей главе исследуется солнечная вспышка 15 августа 2013 г. (класса C2.1). Принципиальная особенность заключается в том, что используется новейший оптический телескоп – NST (New Solar Telescope) в обсерватории Биг Бэр. Данный инструмент позволяет получать изображения Солнца с разрешением до 70 км, в том числе в узких спектральных полосах. Кроме того, используются рентгеновские наблюдения GOES и FERMI, ультрафиолетовые изображения и векторные магнитограммы SDO. Тонкая пространственная структура вспышечных лент (и вспышечных аркад) наблюдалась и ранее, но в данной работе, благодаря уникальным наблюдениям NST, впервые обнаружено, что эти структуры еще более тонкие, чем предполагалось ранее – вспышечные ленты представляют собой цепочки ярких точек с размерами порядка 100 км (т.е., возможно, их реальный размер еще меньше). Векторные магнитограммы были использованы для построения карт вертикального электрического тока на уровне фотосферы; показано, что области локализации этих токов примерно совпадают с вспышечными лентами. Тонкая структура изображений NST позволяет предположить, что токи распределены крайне неравномерно, т.е., действительная плотность тока может значительно превышать оценки по магнитограммам. Для таких потоков заряженных частиц становится существенным обратный ток, а также различные неустойчивости, приводящие к филаментации токовых слоев.

В четвертой главе исследуется солнечная вспышка 17 февраля 2013 г. Уникальность этой вспышки в том, что в ней, несмотря на относительно малую мощность (класс C7.0), наблюдалось «солнцетрясение» (sunquake). Солнцетрясение исследовалось с использованием данных SDO/AIA, также использовались рентгеновские наблюдения RHESSI и GOES и векторные магнитограммы SDO. Как оказалось, эпицентр солнцетрясения соответствовал основанию магнитной петли с относительно слабым рентгеновским излучением, т.е. солнцетрясение вряд ли было вызвано ударом потока ускоренных частиц о поверхность. С другой стороны, эпицентр солнцетрясения вполне совпадает с областью концентрации вертикальных электрических токов; начало

солнцетрясения совпадает с моментом, когда эти токи достигли максимума. Сделан вывод, что именно воздействие электрических токов могло вызвать солнцетрясение.

По существу диссертации нам представляется необходимым сделать следующие замечания.

1. В начале главы 1 говорится, что в рамках стандартной модели солнечных вспышек температура плазмы во вспышечной области не превышает ~ 30 МК; более высокие температуры требуют первичного энерговыделения в короне. По нашему мнению, подобное утверждение не вполне обосновано: стандартная модель не противоречит сильному нагреву плазмы; более того, стандартная модель как раз и предполагает энерговыделение в короне.

2. В разделе 1.3 нетепловая составляющая спектра электронов моделируется двойным (см. Рис. 1.4 слева) или тройным (Рис. 1.4 справа) степенными распределениями. Однако выбор таких распределений не обоснован. В частности, из описания физической задачи в тексте не вполне понятно, в чем преимущество таких распределений перед обычным и двойным степенными распределениями соответственно.

3. В разделе 1.6 предполагается, что за нагрев плазмы ответственны только два процесса: взаимодействие с ускоренными электронами и теплопроводность. В то же время не учитываются другие возможные механизмы нагрева – например, за счет турбулентности (о котором, в частности, говорится в главе 2 диссертации). Мы считаем, что автору следовало бы либо учесть другие механизмы нагрева, либо обосновать, почему ими можно пренебречь.

4. В разделе 2.2 при интерпретации наблюдений не рассматривается двухтемпературное тепловое распределение. В главе 1 было показано, что подобное распределение является хорошим приближением для описываемых сверхгорячих вспышек. Поэтому не вполне понятно, почему оно (без каких-либо обоснований) не применяется для вспышки 12 августа 2002 г.

5. В разделе 2.3.1 говорится, что GOES и RHESSI регистрируют излучение от различных компонент плазмы (горячей и сверхгорячей соответственно). По нашему мнению, данное утверждение требует дополнительного обоснования. Аппарат RHESSI имеет достаточно широкий спектральный диапазон (перекрывающийся с диапазоном GOES), так что, на первый взгляд, он вполне способен регистрировать излучение горячей плазмы; это может привести к формированию двухтемпературного спектра (см. выше).

6. В разделе 3.4 не приведены оценки погрешности вычисления электрического тока по формуле (3.1). Как известно, точность измерения поперечных компонент магнитного поля B_x и B_y с помощью векторного магнитографа относительно низка; кроме того, численное дифференцирование в указанной формуле вносит дополнительную ошибку. Поэтому, на наш взгляд, погрешность вычисления электрического тока по векторным магнитограммам может существенно повлиять на полученные результаты; по крайней мере, она заслуживает отдельного анализа.

7. По нашему мнению, недостаточно внимания уделено тому факту, что тонкая структура вспышечных лент с характерным размером ~ 100 км обнаружена в данной работе впервые в мире. Хотя данный результат отражен в главе 3 и в Заключение, его вполне можно было бы представить как один из основных результатов работы.

Кроме того, есть некоторые замечания к структуре и оформлению работы.

1. Диссертация начинается с раздела «Инструментарий», за которым следует Введение с постановкой задачи. По нашему мнению, подобная структура не способствует пониманию работы. Более логично было бы начать диссертацию с Введения (как это обычно делается), а описание инструментов перенести в отдельную главу или в приложение.

2. В тексте довольно много опечаток и несогласованных с точки зрения русского языка фраз. Есть также различные мелкие неточности: например, часто употребляется

некорректный термин «темп счета», неправильно выставлена шкала на некоторых графиках, цвета на рисунках не соответствуют их описаниям и т.д.

Высказанные замечания, тем не менее, не умаляют многочисленные достоинства работы. Автор диссертации продемонстрировал высокий профессионализм в работе с разнообразными экспериментальными данными и в интерпретации наблюдений.

Диссертационная работа «Исследование энерговыделения солнечных вспышек по многоволновым пространственно-разрешенным наблюдениям» представляет собой законченное исследование и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.03 – Физика Солнца, а ее автор, Иван Николаевич Шарыкин, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук. Результаты диссертационной работы представляют интерес для специалистов в области физики Солнца и могут быть использованы в ГАО РАН, ГАИШ МГУ, ФИАН, САО РАН, НИРФИ, КраО, ИПФ РАН, ИСЗФ СО РАН, ФТИ РАН. Результаты исследования опубликованы в журналах, перечень которых утвержден ВАК. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Работа И.Н. Шарыкина была обсуждена и одобрена на семинаре отдела радиоастрофизики ИСЗФ СО РАН.

Отзыв составил:

зав. лабораторией радиоастрофизических исследований Солнца д.ф.-м.н. А.А. Кузнецов,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт Солнечно-Земной Физики СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 126а,
тел.: +7 3952 564574, e-mail: a_kuzn@iszf.irk.ru,
докторская диссертация защищена по специальности 01.03.03 – Физика Солнца

Зав. лабораторией радиоастрофизических исследований Солнца ИСЗФ СО РАН
д.ф.-м.н.

А.А. Кузнецов

Отзыв утвержден на семинаре отдела радиоастрофизики ИСЗФ СО РАН
22 октября 2015 г., протокол № 11
Секретарь семинара

Е.А. Чернова

Отзыв утвержден на заседании ученого совета ИСЗФ СО РАН
27 октября 2015 г., протокол № 8
Ученый секретарь ИСЗФ СО РАН

И.И. Салахутдинова