

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Полины Владимировны Стрекаловой
**«СТРУКТУРА И ДИНАМИКА МЕЛКОМАСШТАБНЫХ
ОБРАЗОВАНИЙ НА СОЛНЦЕ»**,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия» (физико-математические науки)

Диссертационная работа П.В. Стрекаловой посвящена изучению уединённых мелкомасштабных структур, принадлежащих спокойному Солнцу, а именно - изучению структурных и динамических особенностей факельных образований (ФО) и, главным образом, исследованию их колебательных свойств.

Актуальность диссертационной работы связана с появлением в последние годы совершенно новых типов наблюдений, связанных, прежде всего, с инструментами, имеющими высокое пространственное и временное разрешение. Благодаря высокому временному разрешению данных аппарата SDO и возможности получать практически непрерывные серии наблюдений неограниченной длины, стало возможным детально изучать квазипериодические колебания магнитного поля и других параметров мелкомасштабных образований на Солнце. Всестороннее изучение природы таких колебаний позволяет проверить достоверность существующих моделей мелкомасштабных структур и создать новую трехмерную динамическую модель объекта, отвечающую наблюдениям. При постепенном улучшении качества наблюдательных данных о Солнце в различных диапазонах длин волн появилась возможность пространственно разрешать всё более мелкие и слабые по интенсивности объекты, которые не всегда корректно в прежние времена отождествлялись друг с другом на различных высотах солнечной атмосферы. Появилась необходимость разрешить путаницу в определениях, которая возникла в связи с появлением наблюдений с новыми качествами высоких разрешений.

Научная новизна исследований

Физические и эволюционные характеристики мелкомасштабных магнитных образований, не относящихся к активным областям, впервые изучены комплексно. Разработана методика обработки данных, минимизирующая возможные ошибки отождествления и артефакты периодичностей.

Впервые найдены и изучены долгопериодические колебания магнитного поля факельных образований с периодами, превышающими 25 минут, тогда как в прочих исследованиях основное внимание уделялось 3-5 минутным колебаниям, хорошо исследованным, которые можно объяснить распространением МГД волн в магнитных трубках. В диссертации используются новые методы выявления цветных шумов, основанные на методе Empirical Mode Decomposition (EMD), использующие генерацию искусственных шумов для определения доверительных интервалов. На основе этих методов впервые выделены три режима для не принадлежащих к цветным шумам колебаний. В работе предложена новая модель магнитной структуры факельного образования, основанная на предположении о неглубоком залегании ФО под фотосферой, хорошо согласующаяся с наблюдениями.

Достоверность научных положений и выводов

Достоверность полученных результатов обусловлена применением надежных методов наблюдений и их обработки, большим объемом полученного наблюдательного материала, согласием с результатами других авторов. Результаты диссертационной работы

докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях, семь работ опубликовано в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Краткая характеристика основного содержания диссертации

Объем диссертационной работы составляет 93 страницы. Она состоит из введения, трех глав, заключения, списка цитируемой литературы из 112 наименований, приложения, 22 рисунков и 7 таблиц.

Во введении обсуждается актуальность темы, поднимается вопрос используемых в научном сообществе терминов применительно к мелкомасштабным образованиям, обосновывается использование термина – факельные образования (ФО), - который применяется в данной работе. Даны формулировки цели и задач исследования, отмечается новизна, научная и практическая значимость полученных результатов, апробация работы, приведено краткое содержание диссертации и выносимые на защиту положения.

В первой главе на основе каталога из 75 ФО представлены основные физические параметры факельных образований, описаны этапы структурной эволюции факельных образований, показано пространственное распределение по диску Солнца на магнитограмме, рассмотрены проявления факельных образований в разных частотных диапазонах на разных уровнях солнечной атмосферы. Показано, что магнитное поле ФО не зависит от долготы, кроме того, не наблюдается четкой антикорреляции между изменением площади контура объекта и магнитного поля в этом контуре. Этот результат подлежит тщательному осмыслению и остаётся предметом дискуссии.

Во второй главе описаны обнаруженные в сигнале магнитограмм ФО квазипериодические флуктуации, изложены и обоснованы методы исследования, такие как вейвлет-преобразование и Empirical Mode Decomposition (EMD). Сделано предположение о возможной качественной интерпретации исследуемых долгопериодических колебаний.

Исключены искажения, связанные с переходом экстремального отсчёта магнитного поля между соседними пикселями.

Мезогрануляция имеет характерные периоды жизни отдельных элементов порядка десятков-сотен часов, проявляется наиболее отчетливо в поле скоростей, и возможно, именно она играет большую роль в возбуждении колебаний ФО.

Глава 3 данной диссертации посвящена более подробной интерпретации колебаний магнитного поля факельных образований.

Сигнал магнитограммы исследуется на наличие цветных шумов: белого, розового и красного. Используется метод, включающий в себя построение доверительных интервалов для спектральных плотностей мощности колебательных мод. Предложена модель магнитной структуры ФО, основанная на представлении о неглубоком залегании ФО в подфотосферных слоях. На основе предложенной модели проведена оценка характерных периодов колебаний магнитного поля, результаты этой модели хорошо согласуются с наблюдаемыми значениями.

В Заключении диссертации сформулированы основные результаты работы, сформулированы перспективы дальнейшей разработки темы.

Практическая ценность работы. На данный момент не существует общепринятой модели факельного образования, которая соответствовала бы всем наблюдаемым физическим характеристикам таких солнечных объектов. Трудность заключается в недостатке данных о физических параметрах ФО, таких как масса, температура на различных высотах, глубина залегания под фотосферой. Как показано во введении диссертации, в литературе часто путаются или вовсе не разделяются понятия разнообразных мелкомасштабных структур.

С появлением новых наблюдательных данных с высоким пространственным и временным разрешением появляется возможность уточнить существующие модели мелкомасштабных структур и создать новую, динамическую модель уединенной магнитной структуры ФО,

прослеживая эволюцию физических параметров этих образований в атмосфере Солнца. В данной работе предложена такая модель магнитной структуры факельного образования, основанная на предположении о неглубоком залегании его под фотосферой, хорошо согласующаяся с наблюдениями. Считаю, что результаты, представленные в диссертации, вносят вклад в изменение наших представлений о строении мелкомасштабных магнитных образований на Солнце.

Замечания по работе:

Диссертационная работа производит хорошее впечатление, структура логична, текст написан ясным языком. Проводимый анализ данных достаточно детален и методически выверен, выводы обоснованы.

Наряду с общим хорошим впечатлением от диссертации, отмечу также некоторые недочеты.

1. Есть в небольшом количестве описки, например, стр. 18, п.1.1: «Для того, что начать анализировать...» Чтобы... Стр. 26: «Некоторая скученность точек на Рисунке в районе 300-400 Гс...» Имеется в виду Рис.6. Стр. 41: «Каждое ФО в процессе обработки отслеживалось с помощью бокса, размеры которого по координатам X и Y варьировались от $15 \times 15 \text{ pix}$ на $35 \times 35 \text{ pix}$, в зависимости от размеров ФО, ...» Имеется в виду от ...и до... Есть и другие незначительные описки, все приводить здесь не буду, их немного.
2. Стр. 20: «Положительная и отрицательная полярности на относительно спокойном диске, не возмущённом большим количеством активных областей, на больших масштабах условно чередуется, и, следуя за дифференциальным вращением Солнца, образует стрелоподобный паттерн, видимый на Рисунке 2.» Не очень понимаю, в чем проявляется «стрелоподобная» картина распределения мелкомасштабных магнитных структур.
3. Стр. 22, рис. 3. Если мы говорим о линейной регрессии, то надо привести значимость всех коэффициентов регрессии, значимость самой модели регрессии, а также R^2_{adj} (скорректированный R квадрат- коэффициент детерминации).
4. Стр. 31: «Отдельные параметры, такие как: время жизни, значение магнитного поля, яркость в континууме и УФ диапазоне в ходе исследования рассматривались для большого количества факельных образований.... Более полное и аккуратное исследование проводилось на тестовой группе факельных образований, включающей 75 объектов.» В конечном счете, не понятно, какое количество данных вместе с тестовой выборкой из 75 объектов всего было исследовано.
5. Стр. 32-33: Что имеется в виду под «значением контура»? «максимальное (минимальное) среднее поле в контуре, значение контура, отношение максимального поля к значению контура, длина временного ряда, коэффициент корреляции для среднего поля в контуре и площади этого контура.»
6. Стр. 36, Рис. 8: Замечание, полностью аналогичное замечанию под номером 3. (стр. 22, Рис. 3).
7. Стр. 37, Рис. 9: Такое же замечание относительно построения линейной регрессии.
8. Стр. 43: «Кроме того, с помощью преобразования Фурье нельзя выявить фазовую и частотную модуляцию сигнала». Это не так. Выявить можно, но нельзя выявить локализации во времени этих модуляций.
9. Стр. 44: Принцип Гейзенберга точно так же действует и в вейвлет-преобразовании, как и в оконном Фурье. «Оно было создано как инструмент, который решает проблему неопределенности Гейзенберга для построения частотно-временных характеристик сигнала.» Эта «проблема» является сутью микромира и проявляется для сопряженных величин (частота-время) в макромире при спектральном частотно-временном разложении. Вейвлет-преобразование решает другую проблему оконного Фурье-преобразования – жестко-заданную ширину окна, тем самым, гибко отслеживая как низко-частотные, так и высоко-частотные изменения сигнала во времени.

10. Стр. 57, Рис. 15: Аналогичное замечание по построению линейной регрессии замечаниям 3, 6, 7. Линию регрессии с тем же успехом здесь можно провести под углом почти в 90 градусов к нарисованной.

11. Стр. 68, Рис. 18: уровень трендовой моды обозначает желтый треугольник? Она не то чтобы не является значимой, как сказано в тексте, она должна быть удалена для дальнейшего исследования спектра, то есть ряд должен быть стационаризованным по среднему значению.

12. Стр. 68, Рис. 18: недостаточно четко объяснены значения всех линий разного цвета, значения треугольников, например, красного цвета.

13. Стр. 69: «На распределении спектральных энергий колебательные моды с 1 по 7 и с 9 по 11 попадали в доверительные интервалы белого и розового шумов...» Что означают моды с 1 по 7 и с 9 по 11? В тексте нет объяснения на данной странице.

14. Стр. 70, Рис. 19: рисунку не предшествует ясное объяснение, как проводилось выделение значимой моды 1 типа. Первые два периода – в противофазе с колебаниями магнитного поля.

15. С Рис. 20 и 21 – то же самое. Не понятно, в результате, как выделены моды и 2-го, и 3-го типов.

Указанные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертации П.В. Стрекаловой.

Автореферат диссертации соответствует основным положениям диссертации, достаточно полно отражает решаемые автором задачи исследования, методику исследований и обсуждение полученных результатов.

Считаю, что диссертационная работа Полины Владимировны Стрекаловой «Структура и динамика мелкомасштабных образований на Солнце» является завершенной научной работой и содержит важные новые результаты. Работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013, № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Стрекалова Полина Владимировна - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 «Физика космоса, астрономия».

Официальный оппонент:

Бакунина Ирина Альбертовна,

кандидат физико-математических наук,

доцент кафедры Математической экономики

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики" (НИУ ВШЭ, Нижний Новгород)

Адрес: 603155, Нижний Новгород,

ул. Б.Печерская, д. 25/12

телефон: +79050118401,

email: ibakunina@hse.ru

29.12.2023



И.А. Бакунина