

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию

Лесового Сергея Владимировича

«Результаты исследований Солнца в микроволновом

диапазоне: инструментарий и наблюдения»,

представленной на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия

Актуальность темы

Солнце – ближайшая к нам звезда, активность которой определяет околоземную космическую погоду и оказывает значимое влияние на биосферу и техносферу Земли. Это еще и уникальная космическая лаборатория для изучения плазменных явлений на больших масштабах в экстремальных условиях. Вследствие этого изучение Солнца имеет не только большое прикладное, но и фундаментальное значение.

В настоящее время не вызывает сомнений, что вспышечное энерговыделение - это следствие преобразования свободной энергии магнитного поля в нагрев плазмы, энергию МГД движений и ускорение заряженные частицы. Причем, согласно стандартной модели, значительная, если не большая часть энергии вспышек приходится на ускоренные электроны, а основное энерговыделение происходит в области нижней короны, где температура достигает десятки миллионов градусов. В связи с этим изучение магнитных полей с помощью стандартных методов вызывает большие трудности, а радионаблюдения приобретают особую ценность. Кроме того, поскольку особенности микроволнового излучения вспышечной плазмы зависят не только от магнитного поля, но и характеристик тепловой плазмы и ускоренных электронов, то это позволяет получить ценную

информацию об условиях ускорения и распространения энергичных частиц в солнечных вспышках.

Вплоть до последнего времени диагностические возможности радиогелиографов из-за отсутствия спектральных измерений с высоким частотным и пространственным разрешением были ограничены. Это существенно влияло на их возможности, связанные с диагностикой магнитных полей, механизмов нагрева плазмы и ускорения электронов в области вспышечного энерговыделения. Лишь сравнительно недавно благодаря созданию Сибирского радиогелиографа (СРГ), инструмента мирового уровня, появилась уникальная возможность строить качественные изображения источников микроволнового радиоизлучения в диапазоне от 3 до 24 ГГц с высоким спектральным, временным и пространственным разрешением. Это позволило не только по-новому взглянуть на многие нестационарные явления, но и улучшить краткосрочный прогноз активности Солнца.

Научная новизна и значимость работы

Отметим результаты, которые были получены диссертантом впервые.

1. При непосредственном участии диссертанта, значительный вклад которого в создание инструмента нового поколения не вызывает сомнений, введение в строй радиотелескопа мирового уровня с уникальными характеристиками - Сибирского радиогелиографа, который способен получать микроволновые изображения Солнца в сантиметровом диапазоне длин волн с высоким пространственным, спектральным и временным разрешением. Это позволило проводить двумерную спектроскопию в широком диапазоне радиочастот, что крайне необходимо для лучшего понимания природы солнечной активности.

2. Создание приемника с акустооптическим анализатором спектра для Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ), позволившего одновременно регистрировать двумерные и два одномерных изображения. Времена формирования двумерного и одномерных изображений составили 2-3 мин и 14 мс соответственно.
3. Определение координат источников излучения, а также преимущественного типа волны, соответствующего обыкновенной моде и, следовательно, плазменному механизму радиоизлучения, на основе радионаблюдений быстропротекающих микроволновых всплесков в окрестности частоты 5.73 ГГц.
4. Разработка методики определения угловых размеров компактных источников микроволнового излучения по наклону их пространственного спектра.
5. Убедительные свидетельства, полученные на основе микроволновых и ультрафиолетовых наблюдений, которые предполагают возникновение наблюдаемых радиовсплесков в поглощении вследствие экранировки ярких источников плотными и холодными микровыбросами плазмы.
6. Наблюдения за источником когерентного микроволнового всплеска с высоким пространственным, спектральным и временным разрешением в обеих круговых поляризациях. Благодаря высокой разрешающей способности СРГ это позволило разработать сценарий когерентных всплесков, основанный на формировании неравновесного распределения полого пучка электронов, возникающего в случае наклонной относительно направления магнитного поля инъекции электронов в корональную арку.

Научная и практическая значимость работы определяется, в первую очередь, созданием инструмента нового поколения (СРГ), программного обеспечения, повышающего эффективность исследований в радиодиапазоне, разработкой численных методов обработки наблюдательных данных. Это позволило не только существенно усовершенствовать радиометоды измерения магнитных полей в короне Солнца, но и улучшить прогноз солнечной активности. Полученные диссертантом результаты расширяют наши знания о корональных магнитных полях, нестационарных явлениях в атмосфере Солнца и могут быть использованы для построения физических моделей процессов вспышечного энерговыделения. Их рекомендуется использовать в ИСЗФ СО РАН, ИЗМИРАН, ГАО РАН, ГАИШ МГУ, ИКИ РАН, КраО РАН и многих других отечественных и зарубежных астрономических организациях.

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием большой выборки наблюдательных данных, которая включает оригинальные радионаблюдения на ССРТ и СРГ, а также применением современных методов их обработки. Она подтверждена признанием при обсуждении на семинарах, международных и всероссийских конференциях, согласованностью с наблюдениями других авторов и публикациями в рецензируемых российских и международных журналах. Достоверность результатов зиждется также на большом научном и наблюдательном опыте диссертанта и фундаменте, заложенным основоположниками иркутской школы радиоастрономии, получившей мировое признание.

Личный вклад автора

Результаты, вошедшие в диссертацию, получены автором лично или при его непосредственном участии. Диссертант принимал активное участие в модернизации имеющегося оборудования, а также создании нового

инструмента и проведении наблюдений. Автор диссертационной работы внес определяющий вклад в постановку задач и разработку методов их исследования, включая интерпретацию полученных наблюдений. Особо следует отметить личный вклад диссертанта в решение сложных технических и методических проблем. Автор широко использовал наблюдательные материалы, полученные на других инструментах, в том числе космического базирования. Диссертант принимал равное участие в подготовке публикаций и представлял устные и стендовые доклады на международных и всероссийских конференциях.

Замечания по диссертационной работе

Среди замечаний хотелось бы отметить следующие.

1. На стр.111 сказано, что интенсивность УФ излучения зависит от меры эмиссии, температуры плазмы и относительного количества изотопов в плазме. Поэтому УФ петли могут отклоняться от магнитных силовых линий. Поскольку магнитное поле при малых значениях плазменного параметра бета трассирует динамику плазмы, не совсем понятно, что имел ввиду автор.
2. Следует разъяснить утверждение автора на стр.127 о том, что чем эффективнее нагрев плазмы, тем меньше частиц инжектируется в надтепловую область и наоборот.
3. Поскольку энергия ускоренных электронов содержится, главным образом, в низкоэнергичных частицах, а гиротронное излучение определяется высокоэнергичными электронами, число которых значительно (на порядки) меньше низкоэнергичных, то автору следовало бы более детально обсудить проблему недостаточной чувствительности RHESSI. На мой взгляд, такой подход мог бы

- повлиять на выводы об ускорении электронов на ранней стадии вспышки.
4. Формула (4.8) на стр.148, видимо, содержит опечатку (правая часть уравнения должна быть возведена в квадрат).
 5. Приведенное на стр. 153 уравнение баланса давлений поперек магнитных силовых линий представляется слишком упрощенным, поскольку не учитывает влияние скрученности магнитного поля на условие равновесия.
 6. В работе встречаются повторения. Так на странице 143 сказано, что из двухсот событий с тонкой временной структурой только для шести зафиксированы зебра-структуры. Это утверждение вновь повторяется на стр. 154.
 7. В тексте диссертации случаются обидные опечатки (например, см. на стр. 147 значения плотности, а на стр. 151 - значение температуры).

Однако отмеченные выше замечания ни в коей мере не умоляют значимость полученных автором результатов, а наиболее существенные из них могут быть им учтены в дальнейших публикациях. Характеризуя диссертацию в целом, следует отметить ясное и последовательное изложение представляемого материала, несмотря на широкий охват самых разных проблем. Объем проделанной автором кропотливой, но важной работы, включающей не только научные, но и сложные технические и методические вопросы, свидетельствует о широком кругозоре и целеустремленности диссертанта.

Заключение

По теме диссертации опубликовано 54 работы в изданиях, включенных в список ВАК или в международную реферативную базу ADS (2 статьи в

журналах, входящих в квартиль Q1, и 14 – в квартиль Q2). Результаты, полученные диссертантом, могут быть использованы для проведения уникальных микроволновых радионаблюдений с высоким пространственным, спектральным и временным разрешением, а также для дальнейшего развития теории активности Солнца, солнечных вспышек и их краткосрочного прогноза. Работа выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне. Автор привлек большой объем оригинальных данных, полученных не только на ССРТ и созданном при его непосредственном участии СРГ, но и других телескопах космического и наземного базирования. Материал диссертации, изложенный ясно и последовательно, может представлять интерес как для начинающих исследователей, так и для специалистов самой высокой квалификации. Автореферат, в котором представлены основные этапы и результаты исследования, соответствует содержанию работы. Диссертация представляет собой законченный научно-исследовательский труд, выполненный на актуальную тему. По своей новизне, научно-практической значимости диссертация Лесового Сергея Владимировича на тему «Результаты исследований Солнца в микроволновом диапазоне: инструментарий и наблюдения» полностью соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней» (пункты 9-14), утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в редакции Постановлений Правительства РФ № 335 от 21.04.2016, от 01.10.2018 № 1168), а сам автор, Лесовой Сергей Владимирович, достоин присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Отдела физики Солнца и Солнечной системы

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Крымская астрофизическая обсерватория РАН»



Цап Ю.Т.

29.10.2025

298409, Республика Крым

Бахчисарайский р-н.

пгт Научный

ФГБУН «КрАО РАН»

Телефон: +7-(36554)-71161

E-mail: crao@inbox.ru

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Крымская астрофизическая обсерватория
РАН» (КрАО РАН)



Ростопчина-Шаховская А.Н.