

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Шабалина Александра Николаевича

на тему: “Кинетика ускоренных электронов во вспышечных петлях и поток жесткого рентгеновского излучения из локальных источников”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия.

Актуальность темы

Основным структурным элементом солнечных и звездных вспышек являются корональные магнитные петли. При этом считается, что в области их вершин может быть расположен источник первичного вспышечного энерговыделения, ответственный за ускорение заряженных частиц, распространяющихся вдоль магнитных силовых линий в хромосферу, где и происходит ее нагрев и генерация жесткого рентгеновского излучения. Между тем задача распространения, в частности, пучка электронов вдоль петли все еще вызывает много вопросов. В значительной мере это объясняется тем, что после запуска спутника *Yohkoh* в 1991 г. было обнаружено, что источник жесткого рентгеновского излучения может располагаться не только в основаниях, но и вершине корональной арки. Откуда возникла необходимость построения более сложных моделей. Учитывая также неоднородность плазмы и магнитного поля, возможное взаимодействие ускоренных электронов с турбулентными пульсациями, стало очевидным, что без численных расчетов достаточно трудно продвинуться вперед в данном направлении.

Представленная диссертационная работа посвящена исследованию распространения пучка ускоренных электронов с учетом обратного тока, а также взаимодействия с фоновой плазмой и турбулентными пульсациями. Значительное внимание уделяется изучению влияния параметров ускоренных электронов, магнитного поля и фоновой плазмы во вспышечных петлях на особенности наблюдаемого жесткого рентгеновского излучения, исходя из численного решения кинетического уравнения для функции распределения энергичных частиц. Такой подход позволяет не только проводить диагностику магнитного поля и вспышечной плазмы, но и ограничить число моделей ускорения, исходя из данных наблюдений, регистрируемых в рентгеновском, микроволновом и ультрафиолетовом диапазоне излучения.

В свете вышесказанного актуальность диссертационной работы Шабалина Александра Николаевича сомнений не вызывает.

Научная новизна и значимость работы

Кратко сформулируем основные результаты работы, которые были получены впервые и представляются наиболее значимыми.

1. Проведен расчет распределения яркости и поляризации жесткого рентгеновского излучения вдоль вспышечной петли в зависимости от положения на диске Солнца, магнитных неоднородностей, ионно-звуковой турбулентности и степени ионизации плазмы.
2. Исследовано влияние турбулентности и магнитных флуктуаций на энергетическое, питч-угловое и пространственное распределение ускоренных электронов в петле с учетом кулоновских столкновений, магнитного отражения и индукционного электрического поля.
3. Изучена зависимость спектров временных задержек в жестком рентгеновском диапазоне от параметров ионно-звуковой турбулентности и магнитных флуктуаций, а также эффектов, связанных с распространением электронов.
4. Показано, что применение разработанной методики к солнечным вспышкам позволяет объяснить пространственные и спектральные характеристики радио- и рентгеновского излучения и диагностировать параметры плазмы вспышечной петли и ускоренных электронов.

Диссертационная работа позволяет лучше понять природу звездных и солнечных вспышек. Результаты моделирования могут быть проверены экспериментально и оказаться весьма полезными при интерпретации наблюдений.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректным использованием современных методов математического анализа и достаточным пониманием физической сущности рассматриваемых явлений. Все приводимые результаты сопровождаются строгими доказательствами и разъяснениями. Их достоверность подтверждается наблюдениями. Основные положения, выносимые на защиту, докладывались на международных и всероссийских конференциях, семинарах, опубликованы в открытой печати.

Соответствие работы требованиям

Диссертационная работа состоит из Введения, трех глав, Заключения и списка литературы, включающего 185 библиографических наименований. Полный объем составляет 229 страниц, содержит 105 рисунков и 8 таблиц. Диссертация хорошо оформлена и практически не содержит опечаток.

По теме диссертации опубликовано 34 научные работы, в том числе 15 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК, и 19 работ в материалах

Всероссийских и международных конференций и симпозиумов, которые в полной мере отражают ее содержание.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям (пункты 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней»), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

Замечания по диссертационной работе

В работе уделено явно недостаточно места интерпретации результатов численного моделирования. В частности, ничего не сказано о режимах диффузии ускоренных электронов в конус потерь, и их связи с временными задержками. Не обсуждается проблема происхождения магнитных неоднородностей и ионно-звуковой турбулентности. Например, как известно, ионно-звуковые волны сильно затухают, из-за их бесстолкновительного поглощения тепловыми ионами (затухание Ландау), поэтому электронная температура должна быть гораздо выше ионной. Помимо ионно-звуковых волн во вспышечных петлях могут эффективно возбуждаться ленгмюровские, свистовые и верхнегибридные моды, что требует детального рассмотрения. В диссертационной работе не обсуждается влияние нестационарности магнитного поля петли, температуры и плотности фоновой плазмы на полученные результаты. Вызывает некоторое недоумение утверждение автора о том, что в магнитной петле гирочастота электронов меньше частоты столкновений последних с ионами (стр.32). Неясно, какое отношение к формуле (5) имеет характерная продольная длина корреляции флуктуаций магнитного поля, поскольку в формуле этот параметр в явном виде не используется.

Однако отмеченные выше замечания ни в коей мере не умаляют значимость полученных результатов и могут быть учтены автором в дальнейших публикациях по теме исследования.

Заключение

Оценивая работу в целом, следует отметить ее высокий научный уровень, а также актуальность и перспективность проведенных исследований. Соискатель разработал комплекс программ для численного моделирования кинетики ускоренных электронов и генерации жесткого рентгеновского и микроволнового излучения. Автору удалось получить новые, интересные результаты, которые вносят определенный вклад в понимание природы солнечных и звездных вспышек и могут быть использованы при планировании космических миссий и экспериментов.

Разработанные методики и подходы, безусловно, будут востребованы международным астрономическим сообществом. Результаты диссертации могут

быть использованы в ряде астрономических научных центров ближнего и дальнего зарубежья.

Автореферат отражает в полной мере содержание работы.

Считаю, что диссертационная работа Шабалина Александра Николаевича “Кинетика ускоренных электронов во вспышечных петлях и поток жесткого рентгеновского излучения из локальных источников” является законченной работой, выполнена на высоком научном уровне и отвечает всем требованиям ВАК при Минобрнауки России, а соискатель заслуживает присвоения научной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

28.09.2020

Ведущий научный сотрудник
Отдела физики Солнца и Солнечной
системы ФГБУН «КрАО РАН»
доктор физ.-мат. наук

Ю.Т. Цап

Телефон: +79780204196
Email: yur@craocrimea.ru

Подпись Ю.Т. Цап заверяю
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
«Крымская астрофизическая обсерватория
РАН» (КрАО РАН)



А.Н. Ростпочина-Шаховская

Адрес:

ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН»
пгт. Научный
Бахчисарайский р-н.
Республика Крым, 298409