

О Т З Ы В

на диссертационную работу Шабалина Александра Николаевича
"КИНЕТИКА УСКОРЕННЫХ ВО ВСПЫШЕЧНЫХ ПЕТЛЯХ ЭЛЕКТРОНОВ:
ПОЛЯРИЗАЦИЯ И ПОТОК ЖЕСТКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ -
ТЕОРИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ",

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звездная
астрономия

Диссертационная работа А.Н. Шабалина посвящена актуальной проблеме диагностики физических условий и процессов в солнечных вспышечных петлях на основе моделирования процессов распространения энергичных электронов в замкнутых магнитных структурах и генерации жёсткого рентгеновского излучения вспышек. Достигнутый им прогресс относится, прежде всего, к следующим задачам. 1) Расчёт кинетики энергичных электронов с учётом новых факторов. 2) Разработка методов расчета жесткого рентгеновского (ЖР) излучения и степени поляризации во вспышечной магнитной петле с учётом её положения на диске Солнца и с учетом полученных распределений электронов в магнитной петле. 3) Определение угловых, энергетических, пространственных, временных характеристик инжектируемых в магнитные петли ускоренных электронов в конкретных вспышках с целью получения ограничений на параметры моделей ускорения заряженных частиц.

До работ Александра Шабалина численное моделирование пространственного, энергетического иpitch-углового распределений электронов вдоль вспышечной магнитной петли на основе решения кинетического уравнения в форме Фоккера–Планка учитывало лишь такие факторы, как отражение энергичных электронов от магнитных пробок, рассеяние на кулоновских столкновениях с фоновой плазмой, а также нестационарность инжекции и различия в локализации области ускорения/инъекции электронов. Главным его достижением в этом плане считаю включение в рассмотрение таких новых факторов, как: а) влияние электрического поля обратного тока; б) рассеяние энергичных электронов на мелкомасштабных магнитных неоднородностях; в) рассеяние на ионно-звуковой турбулентности.

В своей диссертации Александр показывает, что эти факторы оказываются очень важными для относительно низкоэнергичных электронов, которые генерируют наблюдаемое ЖР излучение. Как следствие, их учёт существенно влияет на результаты диагностики параметров ускоренных электронов во вспышечной петле. В этом заключается существенная новизна результатов диссертации. Учёт волновой турбулентности позволил автору вывести диагностику ускоренных электронов по их ЖР излучению (пространственное распределение, поляризация, временные профили) на качественно новый, более адекватный уровень. Более того, появилась возможность диагностировать сам факт наличия или отсутствия турбулентности во вспышечных петлях. Разработанные им методы диагностики впервые применены к реальным солнечным вспышкам, в результате чего для конкретных событий было дано объяснение пространственных и спектральных характеристик рентгеновского и микроволнового излучений, получены некоторые ограничения на параметры плазмы и потоков ускоренных электронов.

Содержание диссертации А.Шабалина показывает его научную зрелость. Это касается как стиля изложения, так и глубины знания предмета и методов исследования. Вместе с тем, хочу отметить, что, как и в случае любого другого научного

исследования, иногда возникают вопросы к постановке задачи. В частности, читая главу 2, у меня возник вопрос относительно авторских предположений об однородности в пространстве и постоянстве во времени ионно-звуковой турбулентности во вспышечной петле. Автор считает, что наиболее вероятные механизмы генерации ИЗТ – это конверсия ленгмюровских волн в ионно-звуковые, либо неустойчивость ионно-звуковых волн, возникающая в присутствии обратного тока, когда средняя скорость электронов тока становится сравнимой с фазовой скоростью ионно-звуковых волн. В первом случае имело смысл как-то обосновать длительное присутствие ленгмюровских волн во всей петле. Во втором случае также хорошо бы обосновать гипотезу об однородности ИЗТ. Насколько я знаю (Arber & Melnikov, ApJ 2009, 690, 238), ИЗТ в моделях с обратным током не является распределённой, напротив, она очень сильно локализована в пространстве и времени. Фактически она сконцентрирована в очень узком слое (фронте), распространяющемся вдоль петли со скоростью ионного звука. Достаточна ли в этом слое плотность энергии, чтобы рассеять нетепловые электроны рассматриваемых в диссертации энергий? Такие оценки в диссертации не проводились. Я понимаю, что это трудные вопросы и трудная задача. На самом деле мы не знаем какие типы турбулентности присутствуют во вспышечных петлях и какой их уровень. Там где, теория пока бессильна, может помочь моделирование разнообразных ситуаций (модели с разными предположениями о распределении турбулентности разных типов и уровней). Именно это и сделано в диссертации, что полезно, так как позволяет отсеять заведомо нереальные модели/предположения, сравнивая рассчитанные характеристики излучений с реально наблюдаемыми. На текущем этапе развития теории вспышечных петель это является вполне адекватным методом.

Основные результаты диссертации опубликованы в достаточном количестве научных журналов, рекомендованных ВАК, и доложены на российских и международных. Несомненно, они являются полезными для специалистов, занимающихся физикой Солнца и солнечной радиоастрономией, и найдут применение в ИПФ РАН, ИСЗФ СО РАН, САО РАН, НИРФИ ННГУ, НИИРФ СПбГУ, КраО РАН и других научных организациях.

Основные положения, выносимые на защиту, обоснованы. Диссертационная работа тщательно оформлена. В целом диссертация произвела хорошее впечатление, Она удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к работам, представляемым на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Шабалин Александр Николаевич заслуживает присвоения ему искомой степени.

Главный научный сотрудник
ФГБУ ГАО РАН, д.ф.-м.н.

В.Ф. Мельников

21.09.2020 г.

Адрес: 196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе 61,
Телефон, e-mail: +7-903-058-3012, v.melnikov@gaoran.ru

Поручил В.Ф. Мельникову заверить.
Ученый секретарь ГАО РАН

