

ОТЗЫВ официального оппонента А.Б. Струминского
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Грицыка Павла Александровича
«Аналитические модели ускорения и взаимодействия с атмосферой
Солнца электронов во время вспышки»
по специальности 01.03.03 – «Физика Солнца»

Основным каналом передачи магнитной энергии, запасенной в активной области перед вспышкой, является ускорение заряженных частиц и их взаимодействие в различных слоях атмосферы Солнца, приводящее к нагреву вспышечной плазмы. В начале 70-х годов прошлого века были построены первые аналитические модели, описывающие этот процесс. Позднее были высказаны теоретические предположения, дополняющие и расширяющие первые аналитические модели, в частности, было предложено учитывать эффект обратного тока и доускорение частиц в коллапсирующих ловушках [56-57, 80-81]. (Здесь и далее в отзыве приведены ссылки согласно основному списку литературы на стр. 119-132 диссертации, ссылки на работы П.А. Грицыка по теме диссертации отмечены литерой А, соответствуют списку на стр. 118, дополнительные ссылки даны по фамилии первого автора и года публикации).

Проверка этих гипотез стала возможной только после наблюдений области взаимодействия вспышечных электронов с необходимым пространственным и энергетическим разрешением рентгеновскими детекторами КА RHESSI (Ramaty High Energy Spectropic Imager). Перед диссертантом была поставлена задача построения аккуратной аналитической модели взаимодействия ускоренных электронов на основе кинетических уравнений, ее применение для описания современных наблюдений в рентгеновском [117, 125] и микроволновом диапазонах. Таким образом, тема диссертации Грицыка Павла Александровича является актуальной и своевременной.

Рукопись диссертации, представленная на 132 стр., содержит введение, четыре главы и заключение, два списка литературы. На основе изложенного материала Павел Александрович выдвигает для защиты четыре положения. Разберем последовательно каждое из них, потом обсудим диссертационную работу в целом и сделаем отдельные комментарии по тексту.

Первое положение заявляет существование точного аналитического решения кинетической задачи, оно впервые опубликовано в работе [A1], рассматривается в Главах 1-2 и приложении. Диссертант подчеркивает, что решение двумерное по скорости, но не оговаривает одномерную по координате и стационарную по времени постановку задачи. Границы применения такого приближения к реальной солнечной вспышке, которая развивается во времени и в пространстве нигде в диссертации не обсуждаются.

Второе положение утверждает, что поток энергии, переносимый ускоренными электронами, существенно больше при учете обратного тока и обеспечивает наблюдаемую интенсивность жесткого рентгеновского излучения в больших вспышках. Проверка этого утверждения сделана в Главе 4 диссертации только для максимумов интенсивности жесткого рентгеновского излучения вспышек 6 декабря 2006 г. [A3] и 19 июля 2012 г. [A4]. Результаты расчетов приведены в таблицах 2 и 3 соответственно. Согласно обзору (Holman et al., 2011) основная сложность проверки гипотезы об обратном токе состоит в том, что для получения мощности потока пучка электронов ($\text{эрг/см}^2\text{с}$) в модельных расчетах необходимо знать площадь мишени, которая из наблюдений известна с большой ошибкой. Диссертант берет площадь мишени из работ [117, 125] без каких-либо сомнений.

На мой взгляд, второе положение выглядело бы более убедительным, если бы в диссертации расчеты были проведены для нескольких наблюдаемых пиков рентгеновского излучения в этих вспышках, что в свою очередь потребовало бы самостоятельного определения площади мишени из наблюдений. Это позволило бы как проверить выбор входных параметров модели, так и исследовать временную динамику вспышек.

Третье положение утверждает эффективность дополнительного ускорения в корональных магнитных ловушках, оно основано на материалах Глав 2 и 4 диссертации и наблюдениях вспышки 19 июля 2012 г. [125], опубликовано в работе [A5]. Здесь хотелось бы увидеть количественные оценки эффективности дополнительного ускорения. Сколько кэВ/с набирает электрон, какова максимальная энергия электронов и длительность дополнительного процесса ускорения? Согласно рис. 17 электроны 10-100 кэВ в коллапсирующей ловушке приобретают около 10 кэВ, за какое время?

Четвертое положение является предсказанием малой поляризации жесткого рентгеновского излучения вследствие влияния обратного тока. Расчет поляризации жесткого рентгеновского излучения представлен в Главе 3 отдельно как при взаимодействии с мишенью ускоренных электронов 30-100 кэВ [A2], так и электронов 10-100 кэВ с тепловым спектром, «убегающих» из области сверхгорячей плазмы [A6].

Как видно, энергетические спектры обоих компонент перекрываются. Проблема определения низкоэнергетической границы нетеплового спектра (сшивка теплового и нетеплового спектров) является одной из основных при интерпретации жесткого рентгеновского излучения. Каково количественное соотношение в заданный момент времени между ускоренными и убегающими электронами? Какова будет поляризация жесткого рентгеновского излучения, если ее рассчитать для обоих компонентов одновременно?

В целом диссертационная работа производит хорошее впечатление, показывает высокую теоретическую подготовку диссертанта и его умение достаточно смело обращаться с экспериментальными данными. Представленные в работе аналитические модели выделяют основные физические процессы и дают общее представление о возможных решениях. Вывод кинетических уравнений и методы их решения, а также ключевые модельные предположения, детально описаны в тексте и могут быть проверены на корректность. Используя полученные решения, можно интерпретировать результаты наблюдений и создавать более сложные

численные модели солнечных вспышек. Интересным представляется вывод на стр. 84 о том, что ускоренные электроны под воздействием поля обратного тока возвращаются назад в область ускорения.

Сделанные в работе оценки поляризации тепловой и нетепловой компонент жесткого рентгеновского излучения имеют практическое значение и могут быть приняты во внимание при планировании перспективных космических экспериментов.

Стр. 6-7 «В космических условиях электроны и протоны ускоряются до высоких, иногда очень высоких: электроны от 50 МэВ до 400 ГэВ, протоны от 80 МэВ до 700 ГэВ». По-видимому, автор вместо характерных энергий спектра КЛ приводит энергетические диапазоны детектора ПАМЕЛА.

Стр. 27-28. Формулы 3-5 и их описание. Переменная j здесь является плотностью тока, а не током!

Стр. 97-98. Раздел 4.2.3 «Спектр микроволнового излучения» вызывает больше вопросов, чем дает ответов, его вообще не стоило включать в работу. Рис. 20, по мнению диссертанта, подтверждает корректность аналитической модели для вспышки 19 июля 2012 г на демонстрационном уровне. Это не так. Спектр ускоренных электронов на рис. 17 вычислен в пределах от 10 до 120 кэВ, выбор этих пределов был обоснован ранее для жесткого рентгеновского излучения. Электроны с таким спектром не могут дать гиротронное излучение от 0.5 до 50 ГГц. Наблюдаемое расхождение в области малых частот, скорее всего, связано с неправильным выбором механизма излучения, а согласие при больших частотах является случайностью, так как в область больших энергий спектр был экстраполирован без каких-либо оснований.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.03.03 – «Физика Солнца» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-

2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Грицык Павел Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – «Физика Солнца».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник
отдела физики плазмы
ФГУБН «Институт космических исследований
Российской академии наук»

Струминский Алексей Борисович

Алексей 27.09.2019

Контактные данные:

тел.: ; e-mail:

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация: 01.03.03 – «Физика Солнца»

Адрес места работы:

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт космических исследований Российской академии наук»,
отдел физики плазмы

Тел.: ; e-mail:

Подпись сотрудника

ФГУБН ИКИ РАН А.Б. Струминского удостоверяю:

Ученый секретарь ИКИ РАН А.М. Саловский



[Handwritten signature]