

ОТЗЫВ

официального оппонента Юшкова Бориса Юрьевича, кандидата физико-математических наук, на диссертацию **Лысенко Александры Львовны «Импульсное ускорение частиц в солнечных вспышках и их роль в нагреве плазмы»**, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 —

«Физика Солнца»

Диссертация А.Л.Лысенко посвящена исследованию актуальной проблемы ускорения частиц в солнечных вспышках на основе измерений, выполненных в эксперименте по исследованию космических гамма-всплесков Konus-Wind, проводящемся с 1994 г. по настоящее время.

Вызывает глубокое удовлетворение сама постановка задачи — использование детектора Konus-Wind, предназначенного для исследования космических гамма-всплесков, для наблюдения солнечных вспышек в жёстком рентгеновском и мягком гамма-диапазонах. Это позволило получить длительный ряд непрерывных измерений в течение двух солнечных циклов. Этот ряд данных может быть использован в дальнейших исследованиях. С другой стороны, детектор Konus-Wind был спроектирован для исследования космических гамма-всплесков, что определило его настройку на регистрацию быстрых процессов. Это привело к ограничению времени работы в триггерном режиме и потере значимой части важной информации о солнечных вспышках.

В Главе 1 описаны инструменты и методы, использованные в работе, включая статистические методы. В Главе 2 описана база данных, полученных в эксперименте Konus-Wind, содержащая более 1000 событий в триггерном режиме. В фоновом режиме зарегистрировано более 13000 событий. Статистические исследования солнечных вспышек, зарегистрированных прибором Konus-Wind в триггерном режиме, показали, что распределения вспышек по пиковым скоростям счета и длительностям подчиняются степенному закону, что согласуется с предыдущими результатами. Глава 3 посвящена статистическому

исследованию ранних импульсных холодных вспышек в рентгеновском и микроволновом диапазонах. Выделены статистически значимые группы опорных и холодных вспышек, различающиеся по временным и спектральным характеристикам в рентгеновском и микроволновом диапазонах. Глава 4 посвящена построению физической модели холодной вспышки с задержкой нагрева, произошедшей 10 марта 2002 г. Комбинирование данных детектора Konus-Wind с данными по микроволновому излучению и изображениями вспышечной области в ультрафиолетовом диапазоне позволили построить пространственную модель вспышки, имевшей двухпетельную структуру. В Главе 5 проведены исследования солнечных вспышек, зарегистрированных Konus-Wind в гамма-диапазоне. Для вспышек 6 сентября 2017 г. и 9 июля 1996 г. построены временные профили отдельных компонентов рентгеновского и гамма-излучения и получены оценки спектра ускоренных протонов. Проведен спектральный анализ рентгеновского и гамма-излучения вспышки 6 июля 2012 г., в которой в эксперименте PAMELA были зарегистрированы солнечные космические лучи.

Работа выполнена на высоком теоретическом уровне с применением современных методов статистической обработки и моделирования и является законченным оригинальным научным исследованием. Новизна полученных результатов и их достоверность не вызывает сомнений. Вместе с тем есть ряд замечаний.

В диссертации очень бегло рассмотрены вопросы изменения параметров аппаратуры за столь длительный период работы. На стр. 23 сказано о калибровке каналов, основанной на положении фоновых линий в многоканальных спектрах. На стр. 55 упомянуто сравнение результатов многоканального и трехканального фитирования спектров и сделан вывод о том, что изменение границ каналов со временем не должно существенно повлиять на оценку теплового излучения. Целесообразно провести интеркалибровку показаний детектора Konus-Wind с данными других экспериментов (КОРОНАС-Ф, INTEGRAL,

RHESSI, Fermi/GBM). Представляется странным утверждение на стр. 21, что прибор Konus-Wind «обладает исключительно стабильным фоном». Космический аппарат Wind располагается в межпланетном пространстве, где фоновые условия должны существенно изменяться во время вспышек солнечных космических лучей, тем более что детектор не имеет антисовпадательной защиты от заряженных частиц. В диссертации не указана толщина стенок контейнера из алюминия, а именно эта толщина определяет поглощение солнечного рентгеновского излучения при малых энергиях. Этим поглощением, в частности, может объясняться наблюдаемое уплощение спектра на низких энергиях (рис. 3.8 и 4.3).

Результаты, полученные в Главе 5, во многом имеют дискуссионный характер. Вызывает определенные сомнения достоверность полученной величины задержки линии 2.223 МэВ в 10 с. Стандартная величина задержки порядка 80-100 с, определяемая временем термализации нейтронов, получена в многочисленных расчетах и подтверждена во многих экспериментах. Не вполне убедительно выглядит объяснение спада интенсивности линии 2.223 МэВ после 11:56:50 – хотя интенсивность ядерных гамма-линий в этот момент уменьшается, за счет запаздывания линии 2.223 МэВ ее спад должен быть более плавным и, скорее всего, начаться за пределами интервала спектральных измерений Konus-Wind. Не указан интервал времени накопления спектра, показанного на рис. 5.3. На мой взгляд, было бы интересно попытаться вместо степенного спектра с изломом использовать два компонента – «классический» степенной и «жесткий» компонент с экспоненциальным завалом. Многоканальные спектры позволяют проследить эволюцию этих компонентов. Приведенный на рис. 5.4с временной ход интенсивности тормозного излучения на 10 МэВ представляется недостоверным, т.к. он получен путем экстраполяции спектра более чем на порядок по энергии.

В диссертации есть отдельные неточные формулировки. На стр.115 сказано, что «заряженные пионы распадаются на позитроны и электроны», при

этом не упомянуты промежуточные частицы – мюоны. В п.4 Заключения упоминается «гиротронный спектр ускоренных электронов». Диссертация написана хорошим языком и содержит незначительное количество опечаток и синтаксических ошибок. Основные результаты опубликованы в *Astrophysical Journal* и «Успехах физических наук» и были доложены на многочисленных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа полностью отвечает требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор, **Лысенко Александра Львовна**, безусловно заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 — «Физика Солнца».

Официальный оппонент
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Отдела космических наук
Научно-исследовательского института
ядерной физики им. Д.В.Скобелева
Московского государственного
Университета им. М.В.Ломоносова
clef@srd.sinp.msu.ru



Юшков Борис Юрьевич,

Подпись Юшкова Б. Ю. заверяю
Заместитель директора НИИЯФ МГУ
кандидат физико-математических наук



В.И.Оседло