

ОТЗЫВ

официального оппонента Румянцева Дмитрия Александровича на диссертацию Долгих Константина Александровича «Построение модели горячих пятен космических лучей предельно высоких энергий с учётом межгалактических магнитных полей», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «Теоретическая физика».

Диссертационная работа К.А. Долгих посвящена изучению влияния турбулентного межгалактического магнитного поля с колмогоровским спектром на распространение космических лучей ультравысоких энергий в режиме малого угла рассеяния, количественный и качественный анализ формирования каустикоподобных структур в пространственном распределении космических лучей предельно высоких энергий (КЛПВЭ). В работе разработаны методы интерпретации наблюдаемых данных по анизотропии КЛПВЭ исходя из данных обсерваторий Пьера Оже и Telescope Array. В диссертации разработан алгоритм прицеливания для эффективного моделирования направлений испускания частиц источником для попадания в область наблюдателя.

Актуальность и значимость проведенных исследований подтверждается тем, что для анализа положения источников и траекторий заряженных частиц КЛПВЭ, принципиально важно решение задач, поставленных в настоящей диссертации. Результаты, полученные в диссертации могут послужить отправной точкой для получения ограничений для межгалактических магнитных полей.

Практическая значимость работы заключается в обнаружении нового режима, который должен учитываться в исследованиях, проводимых в данной области при учёте межгалактического магнитного поля. Результаты работы позволяют улучшить ограничения на параметры межгалактического магнитного поля и количество источников космических лучей на расстояниях до 50 Мпк. Улучшения программного кода и алгоритма прицеливания позволят получать больше информации об изображении источника космических лучей и анализировать больше возможных моделей с меньшими затратами вычислительных ресурсов.

Диссертация Константина Долгих состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и одного приложения. Общий объём диссертации составляет 88 страниц, включая 24 рисунка. Список литературы содержит 93 наименования.

Во введении приводится мотивация и актуальность темы исследования, дается обзор литературы по наблюдательным данным КЛПВЭ, моделированию прохождения КЛПВЭ в галактическом магнитном поле и ограничениям на межгалактическое магнитное поле.

В первой главе рассматриваются общие свойства отклонения космических лучей в турбулентном магнитном поле. Проверяется, что использованное компьютерное моделирование согласуется с известной диффузионной теорией. Выполнено моделирование эволюции анизотропии промежуточного масштаба от 1 Мпк до 100 Мпк в распределение космических лучей по сфере вокруг источника. Автором обнаружен каустикоподобный режим, а также обсуждаются и проверяются механизмы его возникновения и как такой режим сказывается на потоке космических лучей для наблюдателя.

Вторая глава посвящена более пристальному исследованию возможных

наблюдаемых эффектов, вызванных каустикоподобным режимом. Для численного моделирования автором был разработан способ ускорения расчетов за счёт прицеливания на наблюдателя на основе предыдущих симуляций. Далее более подробно рассматривается изменение потока КЛПВЭ, проводятся численные оценки вероятности увеличения и уменьшения потоков и, наконец, строятся непосредственно изображения источников, как их видит наблюдатель на Земле с учётом межгалактического магнитного поля, а также показывается, что учёт галактического магнитного поля позволяет добиться пятна, похожего на горячее пятно в наблюдаемых данных.

В третьей главе обсуждаются особенности приближений, в которых выведена диффузионная теория, и объясняется, почему эти приближения нереалистичны. Автор считает, что диффузионная теория предполагает распространение космических лучей полностью независимо друг от друга, но в действительности у них общее турбулентное магнитное поле. Исходя из этого утверждения, делается вывод, что различие между теорией и реальностью приводит к ненулевому смещению изображения источника от направления на него. Этот результат, в дальнейшем, применяется для предложения вариантов объяснения горячего пятна в наблюдаемых данных обусловленного космическими лучами от радиогалактики Центавра А и М83.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Приложение содержит описание программы для ЭВМ для визуализации посчитанных заранее симуляций и вывод выражений для углов отклонения частиц и размера изображения источника в турбулентном магнитном поле.

По представленной диссертационной работе можно сделать следующие **замечания**.

1) В диссертации сделано утверждение, что при выводе формулы (4) используются «другие начальные условия», однако сами условия не приводятся.

2) На стр. 37 диссертации делается утверждение, что число плоских волн в сумме, описывающей турбулентное магнитное поле равно 463, и приведено пояснение, почему сделан выбор в пользу этого числа, однако никаких численных оценок при этом не приводится. Например, на сколько меньшее количество волн приводит к нежелательному эффекту доминирования в отклонении КЛПВЭ? С другой стороны, на сколько увеличится время расчета при большем количестве волн?

3) В третьей главе предложена интерпретация горячего пятна КЛПВЭ в области Центавра А. При этом, в качестве возможных кандидатов ускорителей КЛПВЭ в этой области рассматриваются радиогалактика Центавр А и галактики NGC 4945 и М83. Однако, остается не совсем понятным, могут ли в области Центавра А существовать другие кандидаты на источники КЛПВЭ, например, активные ядра галактик.

4) В диссертации очень часто используются жаргонные термины. Например, на стр. 30 не совсем понятен смысл фразы «В CRbeam магнитное поле генерируется как сумма плоских волн ... ,и его точное значение пересчитывается на лету».

5) Надписи на некоторых рисунках сделаны на английском языке.

6) В тексте диссертации используется большое количество сокращенных обозначений, что затрудняет чтение.

Отмеченные недостатки имеют довольно субъективный характер и не меняют в целом **положительной оценки** диссертационной работы, выполненной Долгих Константином Александровичем. Видно, что проделан огромный труд по моделированию распространения потоков космических лучей в межгалактических магнитных полях и

анализу различных моделей источников КЛПВЭ. Тот факт, что результаты диссертации уже сейчас применяются в работах по исследованию космических лучей, делает диссертанта ценным специалистом в данной актуальной области исследований. Диссертация выполнена на высоком научном уровне и отвечает требованиям ВАК. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.3. Теоретическая физика. Результаты, полученные автором, являются новыми, так как в диссертации впервые систематически исследована зависимость интерпретации M83 как источника горячего пятна от величины и корреляционной длины внегалактического магнитного поля. Достоверность и обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, не вызывают сомнений, поскольку в работе используются как численные, так и аналитические методы, успешно применяемые для различных задач теоретической физики и астрофизики, а полученные результаты перепроверялись разными подходами. Там, где это возможно, было проведено сравнение промежуточных результатов с работами других авторов и продемонстрировано их хорошее согласие. Достоверность, обоснованность и новизна результатов также подтверждаются их успешной апробацией в форме докладов на международных и российских конференциях и семинарах. По теме диссертации опубликовано 5 работ в рецензируемых высокорейтинговых научных журналах, входящих в список ВАК. **Аннотация правильно и полно отражает содержание диссертации.**

Диссертация К.А. Долгих «Построение модели горячих пятен космических лучей предельно высоких энергий с учётом межгалактических магнитных полей», удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Константин Александрович Долгих, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. – Теоретическая физика.

20.01.2026

Официальный оппонент

доцент, доктор физ.-мат. наук,

профессор кафедры теоретической физики

Федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования

«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Д.А. Румянцев

rda@uniyar.ac.ru,

+79201404715

150003, г. Ярославль,

Ярославская область,

ул. Советская, д. 14

«Ярославский государственный
университет им. П.Г. Демидова»

*Подпись Д.А. Румянцева заверяю:
заместитель начальника управления,
директор кадровой политики*

Л.Н. Куфирова

Сведения об официальном оппоненте

Румянцев Дмитрий Александрович

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, тел. +79201404715, адрес электронной почты: rda@uniyar.ac.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова», кафедра теоретической физики, доцент, профессор.

Список основных публикаций по теме рецензируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. **Румянцев Д.А.**, Шленев Д.М., Чистяков М.В., ПРОЦЕСС РАСЩЕПЛЕНИЯ ФОТОНА В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПОЗИТРОНИЯ // Журнал экспериментальной и теоретической физики, 2024 -Т. 166. -№ 2. -С. 209-215.
2. Пухов Т.А., **Румянцев Д.А.**, Чистяков М.В., МНОЖЕСТВЕННОЕ КОМПТОНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ В СИЛЬНО ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ // Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2024. -Т. 21. -№ 4 (255). -С. 718.
3. Ярков А.А., **Румянцев Д.А.**, РЕШЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С УЧЕТОМ РЕЗОНАНСА В КОМПТОНОВСКОМ ПРОЦЕССЕ В ЗАМАГНИЧЕННОЙ СРЕДЕ // Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2023. -Т. 20. -№ 3 (248). -С. 422-427.
4. Пухов Т.А., **Румянцев Д.А.**, Ярков А.А., ДВОЙНОЕ КОМПТОНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ В СИЛЬНО ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ // Письма в журнал Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2023. -Т. 20. -№ 3 (248). -С. 466-470.
5. **Rumyantsev D.A.**, Yarkov A.A., Chistyakov M.V., Pukhov T.A., THE PROCESS $e\gamma \rightarrow e\gamma\gamma$ IN A STRONGLY MAGNETIZED MEDIUM // Physics of Atomic Nuclei. 2023. -Т. 86. -№ 4. -С. 589-592.
6. Yarkov A.A., **Rumyantsev D.A.**, RADIATION TRANSFER IN A STRONG MAGNETIC FIELD WITH RESONANCE EFFECTS TAKEN INTO ACCOUNT // Physics of Atomic Nuclei. 2023. -Т. 86. -№ 5. -С. 890-893.
7. Yarkov A.A., **Rumyantsev D.A.**, SOLUTION OF THE KINETIC EQUATION TAKING INTO ACCOUNT RESONANCE IN THE COMPTON PROCESS IN A MAGNETIZED MEDIUM // Physics of Particles and Nuclei Letters. 2023. -Т. 20. -№ 3. -С. 404-406.
8. Pukhov T.A., **Rumyantsev D.A.**, Yarkov A.A., DOUBLE COMPTON PROCESS IN A STRONGLY MAGNETIZED PLASMA // Physics of Particles and Nuclei Letters. 2023. -Т. 20. -№ 3. -С. 443-446.
9. Ярков А.А., **Румянцев Д.А.**, Чистяков М.В., ЗАТУХАНИЕ ФОТОНА В СИЛЬНО ЗАМАГНИЧЕННОЙ ПЛАЗМЕ // Ядерная физика и инжиниринг. 2022. -Т. 13. -№ 4. -С. 394-398.