

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.119.01
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от **30.06.2022 № 8/81**

О присуждении Корочкину Александру Алексеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Новая модель межгалактического фонового излучения и ее приложения к аксиноподобным частицам и внегалактическим магнитным полям» по специальности 01.04.02 – «Теоретическая физика» принята к защите 21 апреля 2022 года протокол № 4/77 диссертационным советом Д 002.119.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства образования и науки РФ № 75/нк от 15 февраля 2013 года.

Соискатель Корочкин Александр Алексеевич, 1994 года рождения. В 2018 году соискатель окончил физический факультет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (МГУ). В 2018 г. соискатель А.А. Корочкин поступил в очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), и обучается по настоящее время, по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика. В настоящее время работает в должности стажера-исследователя научно-образовательного центра ИЯИ РАН.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук, в отделе теоретической физики.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор РАН, Рубцов Григорий Игоревич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, заместитель директора по научной работе.

Официальные оппоненты:

Наумов Дмитрий Вадимович, доктор физико-математических наук, международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), лаборатория ядерных проблем им. В. П. Дзелепова, заместитель директора по научной работе.

Сазонов Сергей Юрьевич, доктор физико-математических наук, профессор РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), лаборатория экспериментальной астрофизики отдела астрофизики высоких энергий, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией.

- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе), в своем положительном заключении, подписанном Уваровым Юрием Александровичем, кандидатом физико-математических наук, старшим научным сотрудником лаборатории астрофизики высоких энергий ФТИ им. А.Ф. Иоффе и Быковым Андреем Михайловичем доктором физико-математических наук, профессором, член-корр. РАН, руководителем отделения физики плазмы, атомной физики и астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе и утвержденном заместителем директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе, доктором физико-математических наук Брунковым Павлом Николаевичем,

указала, что работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор Корочкин Александр Алексеевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — Теоретическая физика.

Соискатель имеет 8 работ по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК [1-8], а также один электронный препринт [9]. Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны либо при решающем участии соискателя, либо им самостоятельно. Список работ, по результатам диссертационного исследования:

1. **A.Korochkin**, A.Neronov, G.Lavaux, M.Ramsay, D.Semikoz, Detectability of large correlation length inflationary magnetic field with Cherenkov telescopes, *JETP* 161.4, 583, 2022, arXiv:2111.10311
2. **A.Korochkin**, O.Kalashov, A.Neronov, D.Semikoz, Sensitivity of the gamma-ray method for strong primordial magnetic fields, *PoS ICRC2021* (2021) 919
3. K.Bondarenko, A.Boyarsky, **A.Korochkin**, A.Neronov, D.Semikoz, A.Sokolenko, Account of the baryonic feedback effect in gamma-ray measurements of intergalactic magnetic fields, *A&A* 660, A80, 2022, arXiv:2106.02690
4. **A.Korochkin**, O.Kalashov, A.Neronov, D.Semikoz, Sensitivity reach of gamma-ray measurements for strong cosmological magnetic fields, 2021, *ApJ*, 906, 116, arXiv:2007.14331
5. **A. Korochkin**, A. Neronov, and D. Semikoz, Search for decaying eV-mass axion-like particles using gamma-ray signal from blazars, *JCAP*, 2003(03):064, 2020, arXiv:1911.13291
6. **A. Korochkin**, A. Neronov, and D. Semikoz, Search for spectral features in extragalactic background light with gamma-ray telescopes, *A&A*, 633:A74, 2020, arXiv:1906.12168
7. **A. Korochkin**, G. Rubtsov, and S. Troitsky, Search for anomalous features in gamma-ray blazar spectra corrected for the absorption on the extragalactic background light, *JCAP*, 1912(12):002, 2019, arXiv:1810.03443
8. **A. Korochkin** and G. Rubtsov, Constraining the star formation rate with the extragalactic background light, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 481(1):557-565, 2018, arXiv:1712.06579
9. O.Kalashov, **A.Korochkin**, A.Neronov, D.Semikoz, Modelling of propagation of very-high-energy gamma rays with CRbeam code. Comparison with CRPropa and ELMAG codes, submitted to *A&A*, arXiv:2201.03996

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, и полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Отмечены следующие критические замечания:

- Приведенный в Главе 1 обзор существующих моделей МФИ весьма сжатый. Практически не приведены существенные детали моделей, основанных на численном моделировании. Это значительно затрудняет выявление отличий новой модели МФИ, представленной в диссертации, от уже существующих, что вынуждает обращаться к первоисточникам. Тут следует отметить, что сама по себе возможность изменения значений исходных параметров модели не может считаться качественным отличием от предыдущих моделей. При полном прочтении Главы 1 (вплоть до параграфа 1.3 включительно) становится ясно, что ключевое отличие заключается, по всей видимости в том, что исходные параметры меняются не произвольным образом, а исходя из максимизации выбранной функции правдоподобия, что, фактически позволяет решить обратную задачу и определить по экспериментальным данным допустимые значения исходных параметров. Было бы значительно более удобно для читателя, если бы это отличие было указано с самого начала Главы 1, на этапе обзора существующих моделей МФИ и в максимально явной форме (в частности, было бы подчеркнуто, что в других моделях именно такой возможности нет).
- Представляется существенным дать обсуждение возможной роли плазменных неустойчивостей в кинетике электрон-позитронных пучков в модели распространения и конверсии гамма-излучения.
- Имеются небольшие технические погрешности и опечатки.
- Ключевым предположением построенной модели МФИ является то, что фон целиком состоит из излучения звезд и излучения межзвездной среды (переработанного на пыли излучения звезд). Однако известно, что

дополнительный заметный вклад в МФИ могут давать активные ядра галактик. Особенно значительным (10-20 процентов) этот вклад может быть в районе 15 микрон – из-за переработки примерно половины ультрафиолетового излучения квазаров на горячей пыли, окружающей сверхмассивные черные дыры, и локального минимума в спектре излучения галактик в этой области (см., например, Рис. 3 в статье Sazonov, Ostriker & Sunyaev 2004). Было бы интересно обсудить влияние этой дополнительной компоненты МФИ на результаты диссертационной работы.

- В первой и второй главах спектры гамма-излучения блазаров описываются простым степенным законом или степенной моделью с изломом. Однако хорошо известно, что в действительности спектральные распределения энергий блазаров имеют «двугорбую» структуру (см., например, Fossati et al. 1998), и форма спектра в каждом из этих «горбов» отлична от степенной. Хотя степенная модель может являться удачным описанием спектров в достаточно узком диапазоне энергий, а также учитывая, что степенные спектры могут возникать естественным образом в случае релятивистских джетов, можно было бы тем не менее обсудить адекватность используемого в моделировании степенного приближения.
- В подписи к Рис.1 есть словосочетание “this work”, что можно понять как результат работы автора. Тогда как сам рисунок и “this work” относятся к работе [30]. Следует добавить пояснение про “this work” в подписи к рисунку. Источник указан правильно.
- Начиная с Рис.1 существование моделей МФИ становится очевидным. В дальнейшем же автор не приводит аргументы в пользу необходимости построения новой модели. Чем его не устраивали предыдущие? Чем лучше новая?
- В построенной автором модели до начала образования звезд предполагается существование пыли из “графита и силикатов”. Однако такие элементы появляются в результате эволюции звезд, и до их рождения такой пыли быть не могло. Стало быть, используемая модель завышает правую часть спектра на Рис.1.

- Из описания модели не ясно, учитывается ли тот факт, что в конце жизни звезда в результате взрыва может сбросить часть своего вещества в окружающее пространство. Это дополнительное вещество увеличивает количество пыли, а также раздувает старую пыль. Гипотеза о постоянстве концентрации пыли во времени не представляется обоснованной.
- Непонятно, почему не учитывается тот факт, что идет процесс звездообразования во втором и третьем поколениях, что влияет на спектр МФИ.
- Наличие множителя в виде дельта-функции в (32) позволяет легко вычислить интеграл в (31). Используемая в работе гипотеза о постоянстве плотности числа аксионоподобных частиц не требуется. В (34) компактнее было бы добавить множитель в виде тета-функции.
- Критерии отбора блазаров для анализа требуют более веского обоснования. Если переход от 1212 к 309 как результат ограничения $z > 0,2$ еще можно принять, то переход от 309 к 5 блазарам в результате требования наличия хотя бы одного фотона с энергией выше 500 ГэВ представляется несколько сомнительным. Источник мог испускать такие фотоны, но статистические флуктуации позволяют иметь нулевое наблюдаемое число фотонов. Процедура отбора может вносить искажение в оценку параметров.
- Было бы информативным, наравне с Рис.13, представить отклонения $\Delta\Gamma$ как функцию z . Тогда, согласно работам [4,5], $\Delta\Gamma$ лежат на прямой линии с отличным от нуля наклоном. Как мне кажется, такую зависимость новый анализ исключает с большей достоверностью, чем слабые отклонения на уровне $1,5\sigma$, которые были получены в Главе 2.
- Следует опубликовать результаты валидации трех пакетов программ.
- Для магнитных полей с большой корреляционной длиной, рассматриваемых в Разделе 4.3, метод определения магнитного поля на основе наблюдений в гамма диапазоне может быть нечувствителен к ВМП, если направление поля совпадает с направлением на источник.
- Не ясно, почему автор выбрал модель [2] для МФИ вместо развитой в диссертации.

- В работе рассмотрен спектр гамма-излучения $\propto E^{-2.4}$ без мотивировки. В то же время предполагаемая форма спектра будет влиять на оценку напряженности ВМП.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией ученых и наличием работ высокого уровня по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Построена новая модель межгалактического фонового излучения (МФИ) с изменяемыми параметрами и получены ограничения на параметры, лежащие в ее основе.
- Получена значимость эффекта "аномальной прозрачности" Вселенной на основе наиболее полной выборки блазаров с точно измеренными красными смещениями. Показано, что значимость эффекта слабее, чем считалось ранее.
- Впервые установлены ограничения на параметры узкой спектральной добавки на фоне теоретически рассчитанного спектра межгалактического фонового излучения.
- Предложен метод ограничения константы взаимодействия с фотонами гипотетических аксионоподобных частиц с массой в области 1 эВ на основе наблюдений блазаров в области высоких энергий.
- Показано, что чувствительность гамма-телескопа нового поколения СТА достаточна для детектирования сильных внегалактических магнитных полей.
- Рассчитано, что типичные пузыри магнитного поля вокруг галактик и скоплений галактик, соответствующие модели IllustrisTNG, вызывают энергонезависимое подавление потока вторичных гамма-квантов в среднем на уровне 10%.
- Впервые проведено полное сравнение электромагнитных модулей публично доступных Монте-Карло программ CRbeam, CRPropa и ELMAG. В результате сравнения обнаружены неточности моделирования, часть из которых была устранена.

Практическая значимость полученных соискателем результатов исследования подтверждается следующими аргументами. Построенная модель МФИ может использоваться для проверки различных сценариев эволюции звездного населения и пыли во Вселенной и ограничения астрофизических параметров. Ограничения на дополнительную компоненту в МФИ могут применяться для разработки новых теоретических моделей МФИ. Установленные ограничения на константу взаимодействия с фотонами аксионоподобных частиц могут быть использованы при построении новых теоретических моделей с участием аксионоподобных частиц. Полученная оценка чувствительности телескопа СТА к внегалактическим магнитным полям также может использоваться для составления программы будущих наблюдений блазаров телескопом СТА. Полученные результаты о подавлении потока вторичных гамма-квантов в пузырях магнитного поля должны учитываться при интерпретации данных во время поисков проявлений внегалактических магнитных полей методами гамма-астрономии. Факт согласия результатов при моделировании электромагнитных каскадов тремя Монте Карло программа может служить подтверждением точности численного расчета характеристик электромагнитных каскадов.

Личный вклад соискателя состоит в получении основных результатов диссертации, выносимых на защиту. Соискателем построена новая модель МФИ с изменяемыми параметрами и получены ограничения на эти параметры. Также выполнен отбор спектров блазаров для постановки ограничений на параметры узкой спектральной компоненты на фоне теоретически рассчитанного спектра МФИ. Соискатель выполнил отбор высокоэнергичных спектров блазаров и установил ограничения на константу связи с фотонами гипотетической аксионоподобной частицы. Далее соискатель провел подробное сравнение электромагнитных модулей публично доступных Монте-Карло программ моделирования электромагнитных каскадов CRbeam, CRProa и ELMAG и устранил некоторые из найденных неточностей. Используя результаты численного моделирования электромагнитных каскадов, соискатель оценил чувствительность телескопа СТА к сильным внегалактическим магнитным

полям и определил влияние пузырей магнитного поля вокруг галактик и скоплений галактик на подавление потока вторичных гамма-квантов.

На заседании 30 июня 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Корочкину Александру Алексеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **18** человек, из них **4** доктора наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из **27** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – **0** человек, проголосовали: за – **18**, против – **0**.

Председатель заседания,
заместитель председателя
диссертационного совета Д 002.119.01
доктор физ.-мат. наук

_____ Безруков Л.Б.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.119.01
кандидат физ.-мат. наук

_____ Демидов С.В.

30.06.2022 г.

м.п.