

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Корочкина Александра Алексеевича “Новая модель межгалактического фонового излучения и ее приложения к аксионоподобным частицам и внегалактическим магнитным полям”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Диссертационная работа посвящена разработке новой модели межгалактического фонового излучения (МФИ), описанию ее применения для оценки величины внегалактического магнитного поля (ВМП) и получению ограничений на возможные значения параметров аксионоподобной частицы.

В настоящее время существует противоречие в оценке величины МФИ между прямыми измерениями интенсивности МФИ в Солнечной системе и косвенными астрофизическими оценками, полученными тремя методами: суммарного вклада от всех галактик, моделирования эволюции Вселенной и наблюдения гамма-квантов от далеких источников. Прямая и косвенная оценки отличаются почти на порядок в области длин волн электромагнитного излучения порядка 1 микрона.

Сегодня величина галактического магнитного поля порядка 1 микрогаусса представляется относительно надежно установленной. В то же время достоверной оценки величины внегалактического магнитного поля не существует, хотя оно представляет большой интерес как возможное проявление инфляционной стадии эволюции Вселенной, а также может применяться для решения других астрофизических задач.

В диссертации излагаются подходы для оценки МФИ и ВМП, что и определяет **актуальность** диссертационной работы.

Диссертация состоит из четырех глав. В **первой** главе построена новая модель межгалактического фонового излучения (МФИ), проведен отбор источников, смоделированы их спектры, что позволило поставить ограничения на возможную узкую добавку в спектр МФИ. Во **второй** главе получены ограничения на константу связи гипотетической аксионоподобной частицы с фотоном из анализа измеренных спектров блазаров. В **третьей** главе проведено сравнение электромагнитных модулей программ моделирования CRbeam, CRProra, ELMAG, находящихся в свободном доступе. Обнаруженные ошибки либо исправлены автором диссертации, либо о них было сообщено авторам соответствующих программ. В **четвертой** главе выполнено численное моделирование электромагнитных каскадов, получена оценка

чувствительности черенковского телескопа СТА к внегалактическим полям порядка 10^{-11} - 10^{-12} Гаусс.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Научная новизна этих результатов, полученных в диссертации, состоит в следующем:

1. Впервые построена модель межгалактического фонового излучения с изменяемыми параметрами.
2. Получена оценка значимости эффекта «аномальной прозрачности» Вселенной на основе наиболее полной выборки блазаров с точно измеренными величинами красного смещения.
3. Впервые установлены ограничения на положение, ширину и интенсивность небольшой добавки на фоне теоретически рассчитанного спектра межгалактического фонового излучения.
4. Впервые получены ограничения на константу взаимодействия с фотонами g гипотетических аксионоподобных частиц с массой в области 1 эВ на основе наблюдений блазаров в области высоких энергий.
5. Впервые рассчитана чувствительность гамма-телескопа нового поколения СТА к сильным внегалактическим магнитным полям.
6. Впервые установлено, что типичные пузыри магнитного поля вокруг галактик и скоплений галактик вызывают подавление потока вторичных гамма-квантов в среднем на уровне 10%.
7. Впервые проведена полная валидация электромагнитных модулей программ для моделирования CRbeam, CRPro и ELMAG.

Практическая и теоретическая значимость результатов диссертации заключается в следующем (но не ограничивается только этим):

1. Построенная модель МФИ позволяет исследовать сценарии эволюции материи во Вселенной и разрабатывать соответствующие новые модели.
2. Установленные ограничения на константу взаимодействия с фотонами аксионоподобных частиц могут быть использованы при построении новых теоретических моделей с участием аксионоподобных частиц.
3. Полученная оценка чувствительности черенковского телескопа к внегалактическим магнитным полям может использоваться для формирования программы измерений СТА и других черенковских телескопов.
4. Интерпретация результатов поиска внегалактических магнитных полей методами гамма-астрономии должна учитывать оценку подавления потока вторичных гамма-квантов в пузырях магнитного поля.
5. Проведены валидации трех пакетов моделирования, что повышает достоверность получаемых с их помощью результатов.

Общее впечатление от диссертационной работы следующее. Поставленные астрофизические задачи актуальны, интересны и важны в контексте построения единой модели эволюции Вселенной, способной объяснить большинство наблюдаемых данных. Автор обладает обширными знаниями в своей научной области, уверенно владеет многими инструментами теоретической работы: умением писать формулы и программы, делать статистический анализ экспериментальных данных. Кроме того, текст написан достаточно точным, ясным языком. Текст содержит приемлемое число орфографических ошибок и опечаток. Мне работа очень понравилась, и я узнал из нее для себя много нового.

Между тем в процессе чтения у меня появились замечания к работе.

К Главе 1.

1. 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.
2. Автор одновременно использует русскую и английскую аббревиатуры “МФИ” и “EBL” для обозначения одного и того же явления. Следует использовать что-то одно.
3. 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?
4. 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.
5. Я не нашел определения R_{out} в (19).
6. Из описания модели я не смог понять, 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. По моему мнению гипотеза о постоянстве концентрации пыли во времени не представляется обоснованной.
7. Также мне не понятно, почему не учитывается тот факт, что идет процесс звездообразования во втором и третьем поколениях, что влияет на спектр МФИ.
8. “Литературы” в Таб.1 следует заменить на “Литература”.

К Главе 2.

9. Наличие множителя в виде дельта-функции в (32) разве позволяет легко вычислить интеграл в (31). Используемая в работе гипотеза о постоянстве плотности числа аксионоподобных частиц не требуется.

10. В (34) компактнее было бы добавить множитель в виде тета-функции.
11. Несколько неудачно выглядит появление Рис.8 вместе с результатами анализа, которые будут обсуждаться в данной главе гораздо позднее.
12. Критерии отбора блазаров для анализа (из 1212 блазаров было выбрано только 5) 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.
13. Считаю, что было бы также 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.

К Главе 3.

14. Очень хорошая глава с очень полезными результатами валидации трех пакетов программ. Один совет: эту работу следует опубликовать.

К Главе 4.

15. Идея метода определения магнитного поля в пустотах, предложенная в работах [166-168] и основанная на отклонении траекторий электронов и позитронов за счет силы Лоренца, симпатична. Для магнитных полей с большой корреляционной длиной, рассматриваемых в Разделе 4.3, данный метод может быть нечувствителен к ВМП, если направление поля совпадает с направлением на источник.
16. В (47), видимо, не хватает знака “умножить” между первой и второй строками.
17. Не ясно, почему автор выбрал модель [2] для МФИ вместо развитой в диссертации.
18. 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.

Приведенные замечания не умаляют высокого качества проделанной работы и важности полученных результатов.

Основные результаты диссертационной работы являются оригинальными и получены впервые. Они обоснованы, убедительны, известны специалистам и опубликованы в ведущих физических журналах. Всего опубликовано 8 работ в журналах, рекомендуемых ВАК.

В целом диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, она отвечает всем требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор А. А. Корочкин заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Дата:

14 июня 2022

Официальный оппонент,
заместитель директора ЛЯП ОИЯИ по научной работе,
доктор физико-математических наук

Д. В. Наумов

Подпись Д. В. Наумова заверяю:
ученый секретарь ЛЯП ОИЯИ,
кандидат физико-математических наук

И. В. Титкова

Наумов Дмитрий Вадимович, доктор физико-математических наук, заместитель
директора ЛЯП ОИЯИ по научной работе.

Адрес: 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6, ОИЯИ.

e-mail: dmitryvnaumov@gmail.com

Наумов Дмитрий Вадимович

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц; заместитель директора ЛЯП ОИЯИ по научной работе.

Адрес: 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6, ОИЯИ.

e-mail: dmitryvnaumov@gmail.com; +7(496) 216-59-12

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

1. A.V. Avrorin, ... D.V. Naumov, ... **High-Energy Neutrino Follow-up at the Baikal-GVD Neutrino Telescope** // Astron.Lett. 47 (2021) 2, 94-104, Astron.Zh. 47 (2021) 2, 114-124
2. Jaroslaw Stasielak ... D.V. Naumov, ... **High-Energy Neutrino Astronomy – Baikal-GVD Neutrino Telescope in Lake Baikal** // Symmetry 13 (2021) 3, 377
3. F.P. An... D.V. Naumov, ... **Search for electron-antineutrinos associated with gravitational-wave events GW150914, GW151012, GW151226, GW170104, GW170608, GW170814, and GW170817 at Daya Bay** // Chin.Phys.C 45 (2021) 5, 055001. Daya Bay Collaboration
4. G. Abdellaoui, ... D.V. Naumov, ... **Cosmic ray oriented performance studies for the JEM-EUSO first level trigger** // Nucl.Instrum.Meth.A 866 (2017) 150-163
5. P. Adamson, ... D.V. Naumov, ... **Limits on Active to Sterile Neutrino Oscillations from Disappearance Search in the MINOS, Daya Bay, and Bugey-3 Experiments** // Phys.Rev.Lett. 117 (2016) 15, 151801, Phys.Rev.Lett. 117 (2016) 20, 209901 (addendum)
6. Francesco Feno, ... D.V. Naumov, ... **Performances of JEM-EUSO: energy and Xmax reconstruction** // Exper.Astron. 40 (2015) 1, 183-214