

“УТВЕРЖДАЮ”

и.о. зам. директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе

к.ф.-м.н. М.И. Патров

_____ 2022 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Д.В. Сербинова
“Аппаратно-методическое обеспечение эксперимента МВН
по высокоточному измерению космического рентгеновского фона”,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.03.02 (астрофизика и звездная астрономия)

Диссертационная работа Д.В. Сербинова посвящена выработке технических решений, позволяющих выполнить измерения космического рентгеновского фона (КРФ) в диапазоне энергий 6-70 кэВ с точностью на уровне 1%. Актуальность поставленной задачи обусловлена как необходимостью исследовать популяции космических источников, производящих этот фон (в первую очередь, активных галактических ядер), так и вопросами, связанными со статистическими исследованиями групп источников, которые требуется выделять из этого фона.

Помимо разработки и реализации конкретных технических решений как в рентгеновском мониторе МВН, планируемом к запуску на орбиту в 2023 году, так и, отчасти, в уже успешно функционирующем телескопе АРТ-ХС обсерватории “Спектр-РГ”, одной из целей исследования была разработка программы и методики наблюдений, а также методики обработки данных МВН, позволяющей отделить сигнал КРФ от сигналов, создаваемых яркими источниками рентгеновского излучения как в плоскости Галактики, так и вне ее, а также от паразитного сигнала, создаваемого в детекторе частицами космических лучей и наведенной активностью. Актуальность этой второй задачи заключается в том, что разработанные методики могут применяться не только для работы с монитором МВН, но также могут быть использованы в будущих наблюдательных экспериментах по изучению КРФ в других энергетических диапазонах.

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного содержания, заключения и списка литературы из 55 наименований. Полный объем диссертации – 134 страницы текста с 83 рисунками и 11 таблицами.

Во введении дана общая характеристика работы и используемых методов, обсуждены ее актуальность и новизна, сформулированы цели и поставлены задачи, оценена научная и практическая значимость исследования. Представлен краткий обзор современного состояния исследуемой области с акцентом на имеющуюся неопределенность в оценке величины космического рентгеновского фона в диапазоне 6-70 кэВ. Приведены данные по апробации результатов работы, а также список публикаций автора с указанием его личного вклада.

В первой главе представлен обзор существующих методов измерения КРФ. В этой главе достаточно подробно обсуждаются возможные источники полезных, фоновых и паразитных сигналов, регистрируемых рентгеновским детектором, расположенным на низкой

околоземной орбите. Обсуждаются методы выделения полезного сигнала с использованием фильтрации по скорости нарастания сигнала, пассивной защиты и системы антисовпадений, а также на основе модуляции апертуры. Приведены оценки влияния колебаний температуры и радиационных условий на уровень шумов в детекторе и его энергетическое разрешение. Сделаны выводы о влиянии следовых количеств атомарного кислорода на деградацию материалов, используемых в измерительной аппаратуре. Даны оценки влияния микрофонного эффекта на сигнал, формирующийся в полупроводниковых фотодетекторах в результате микровибраций на борту КА. Также приведены оценки влияния воздействия микрометеоритов на стабильность функционирования аппаратуры на низкой околоземной орбите.

Во второй главе диссертации представлена разработанная при активном участии автора методика измерения КРФ и оценки фонового сигнала на основе регулярного перекрытия (модуляции) апертуры четырех детекторов МВН. Важной частью предложенной методики является созданная автором карта экспозиций небесной сферы, позволяющая свести к минимуму возможный вклад в регистрируемый сигнал рентгеновского излучения Галактики и известных на сегодня внегалактических рентгеновских источников, и в то же время, пронаблюдать сигнал КРФ от почти половины небесной сферы. Также выполнена модельная оценка характеристик предложенного обзора и, в частности, оценка точности измерений.

В третьей главе представлена разработанная автором конструкция рентгеновского монитора. В частности, дано детальное описание детектора, его системы модуляции (обтюратора), механизма калибровки. Также представлено моделирование теплового режима монитора МВН и представлены технические решения, реализованные в виде полетной СОТР.

В четвертой главе приведены сведения о предполетных испытаниях всех систем монитора МВН, в том числе, системы модуляции апертуры и СОТР.

Среди наиболее важных результатов, полученных автором диссертации, стоит отметить следующие:

1. Разработан, построен и испытан орбитальный детектор рентгеновского излучения МВН, обладающий чувствительностью в диапазоне 6-70 кэВ и способный выполнить измерения космического рентгеновского фона с точностью порядка 1%.
2. Разработана программа измерений космического рентгеновского фона с борта МКС с помощью детектора МВН.
3. Разработаны оригинальные модули калибровочных источников для космических детекторов жесткого рентгеновского излучения, которые уже успешно используются в обсерватории “Спектр-РГ” и также могут быть использованы в будущих космических экспериментах.

Результаты диссертации представляют существенный интерес для создания перспективных проектов в области рентгеновской астрономии. Выводы и положения диссертации соответствуют полученным и представленным результатам. Существенных недостатков представленная диссертация не содержит, имеются небольшие замечания, в основном, технического и стилистического характера:

(i) Из рис. 2.20 текста диссертации следует, что целевой показатель по погрешности измерений достигается уже при 20 исключенных источниках и дальнейшее увеличение их числа не приводит к его существенному улучшению. В то же время, практическое число исключенных источников составляет более 100, что показывает, что погрешность измерений не является определяющей в вопросе о выборе экспозиций для дальнейшей обработки и

оценки величины и спектра КРФ: более важным вопросом является исключение из поля зрения МВН ярких источников галактического и внегалактического происхождения.

(ii) На стр. 8 диссертации говорится о том, что измерение потока излучения от Крабовидной туманности с помощью МВН на уровне 3-5% могло бы способствовать кросс-калибровке других инструментов, наблюдавших этот объект в разные эпохи, однако исследования последних лет говорят о том, что этот источник обладает переменностью, амплитуда и характерное время которой, вероятно, недооценены, потому подобная кросс-калибровка вряд ли возможна. Кроме того, точность измерения потока от такого яркого источника достаточно высока и у детекторов, не обладающих, подобно МВН, механизмом точной оценки внеапертурного фона. Также в пределах 4 с лишним градусов (половина апертуры МВН) от Крабовидной туманности могут располагаться (или возникать) рентгеновские источники, вклад которых в наблюдаемый МВН поток излучения в диапазоне 6-70 кэВ может находиться на уровне порядка 10^{-3} от потока Крабовидной туманности и таким образом, систематически влиять на оценку потока от этого объекта.

(iii) В тексте диссертации не обсуждается влияние транзиентных рентгеновских источников на качество и ошибку измерения поверхностной яркости КРФ. Можно было бы ожидать хотя бы оценки количества таких источников с яркостью выше некоторой и их вклада в измеряемые МВН потоки рентгеновского излучения.

(iv) В тексте диссертации не обсуждается возможность исключения из анализа экспозиций с яркими источниками, в том числе, транзиентами, на основе пространственного распределения сигнала по 32 рабочим пикселям каждого из детекторов, а также между двумя открытыми детекторами. Также не обсуждается возможность использования спектрального анализа накопленного сигнала КРФ (при том, что спектральный анализ калибровочного сигнала успешно производится, то есть, детектор и система снятия данных это допускают).

(v) На стр. 8 автореферата указан средний радиационный фон на орбите МКС (B_ISS), но не указано, к какому диапазону относится этот фон (к полному диапазону МВН 6-70 кэВ?).

В тексте имеется ряд опечаток и в отдельных предложениях не хватает знаков препинания, имеется некоторое количество стилистических и языковых погрешностей.

Высказанные выше замечания не снижают безусловно высокой оценки диссертации в целом. Представленная работа является законченным научно-квалификационным исследованием, которое выполнено на высоком научном уровне и вносит значительный вклад в развитие актуального направления современной экспериментальной астрофизики – исследований космических источников рентгеновского излучения.

Автореферат отражает содержание диссертации. Основные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, опубликованы в профильных научных изданиях, а также представлены на научных семинарах и конференциях, посвященных прикладным аспектам космических исследований, и получили признание специалистов.

Результаты, полученные в диссертации Д.В. Сербинова, могут быть использованы для исследований, проводимых в ИКИ РАН, ГАИШ МГУ, ИНАСАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ИТЭФ, ИЯИ РАН и ряде других учреждений. Важно отметить, что аппаратура, разработанная автором диссертации, уже успешно применяется в отечественном космическом эксперименте «Спектр-РГ».

Диссертационная работа Д.В. Сербинова была заслушана и обсуждена на объединенном научном семинаре лаборатории Астрофизики высоких энергий и лаборатории Экспериментальной астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе. По общему мнению участников семинара, представленная работа является законченным исследованием, выполнена на высоком уровне, тематически актуальна, содержит интересные оригинальные результаты и ценные для практического использования выводы.

Диссертационная работа Д.В. Сербинова отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор несомненно заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.03.02 (астрофизика и звездная астрономия).

Отзыв составили:

Руководитель отделения физики плазмы, атомной физики и астрофизики
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, д.ф.-м.н. по специальности 01.03.02.,
чл.-корр. РАН

А.М. Быков

и.о. старшего научного сотрудника л. Астрофизики высоких энергий
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, к.ф.-м.н. по специальности 01.03.02,

А.М. Красильщиков

23 июня 2022 г.