

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИКИ РАН
д. ф. м. н., чл.-корр. РАН

А.А. Петрукович

“28” марта 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской Академии Наук (ИКИ РАН) на диссертацию «Аппаратно-методическое обеспечение эксперимента МВН по высокоточному измерению космического рентгеновского фона», представленную Сербиновым Дмитрием Владимировичем на соискание степени кандидата технических наук по специальности 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия».

В период подготовки диссертации соискатель Сербинов Дмитрий Владимирович работал в отделе Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН в должности младшего научного сотрудника лаборатории Астрофизических рентгеновских детекторов и телескопов.

В 2011 г. Сербинов Д.В. окончил Московский авиационный институт по специальности «Испытание летательных аппаратов». В 2009 г. пришел на работу в ИКИ РАН, где в 2015 г. поступил в аспирантуру. По окончании аспирантуры в 2019 г. защитил диплом с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Научный руководитель: Семена Николай Петрович, доктор технических наук, почетный работник науки и высоких технологий, заведующий лабораторией Астрофизических рентгеновских детекторов и телескопов отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН.

Тема кандидатской диссертации Сербинова Д.В. утверждена на заседании Ученого совета ИКИ РАН, протокол № 3 от 22.02.2022 г. Доклад Сербинова Д.В по теме диссертации заслушан и обсужден на заседании НТС отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН 28.03.2022 г.

По результатам рассмотрения диссертации «Аппаратно-методическое обеспечение эксперимента МВН по высокоточному измерению космического рентгеновского фона» **ПРИНЯТО СЛЕДУЮЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ:**

Актуальность темы и направление исследования

Диссертационная работа посвящена созданию методического и аппаратного обеспечения эксперимента на Международной космической станции (МКС) по измерению космического рентгеновского фона (КРФ) со значительно более высокой точностью по сравнению с ранее проводимыми измерениями.

КРФ представляет собой практически изотропное свечение неба в рентгеновском диапазоне энергий. Его открытие состоялось в 1962 г. и стало одним из первых в рентгеновской астрономии. Сейчас известно, что КРФ в значительной степени формируется точечными неразрешенными источниками - активными ядрами галактик (АЯГ). Таким образом, ценность знания КРФ определяется тем, что в нем содержится информация обо всех слабых дискретных рентгеновских источниках во Вселенной, в том числе и неразрешимых с помощью существующих рентгеновских телескопов. В настоящее время точность измерения поверхностной яркости КРФ различными космическими обсерваториями составляет 15-20%.

Повышение точности измерения КРФ позволит решить значимые научные задачи. В частности, комбинирование измерений поверхностной яркости КРФ с исследованиями подсчетов отдельных классов источников в различных глубоких обзорах неба дает возможность изучать долговременную эволюцию роста сверхмассивных черных дыр.

Кроме того, высокоточное измерение КРФ, возможно, выявит распределенную (так называемую диффузионную) составляющую излучения. В случае выделения действительно распределенного излучения в спектре КРФ, абсолютная нормировка потока позволит связать оценки концентрации его источника с процессом формирования этого диффузионного излучения.

Все вышеизложенное подтверждает, что тема представленного исследования является, безусловно, актуальной.

Для подготовки эксперимента по высокоточному измерению КРФ в отделе Астрофизики высоких энергий был создан рентгеновский монитор для установки на внешней поверхности Международной космической станции (МКС). Соискатель создал для этого монитора ряд систем и разработал методику отбора данных, позволяющих решить три ключевые проблемы высокоточного измерения КРФ:

- проблему разделения КРФ и внеапертурного фона прибора;
- проблему учёта апертурного фона;
- проблему точной энергетической и абсолютной калибровки прибора.

Для решения проблемы разделения КРФ и внеапертурного фона прибора соискателем разработана система модуляции апертуры прибора на базе вращающегося экрана.

Для решения проблемы учёта апертурного фона разработана методика, позволяющая провести отбор данных эксперимента, использование которых обеспечивает минимальную погрешность измерения КРФ.

В обеспечение решения проблемы точной энергетической и абсолютной калибровки монитора разработаны прецизионная система термостабилизации рентгеновских детекторов и система их полетной калибровки.

При создании вышеописанных систем соискателем предложены оригинальные перспективные технические решения. В частности, для системы модулирования апертуры монитора разработан двухдвигательный привод, остающийся работоспособным при любой неисправности одного из двигателей.

Д.В. Сербиновым также решена проблема противоречия между сильнопеременными внешними тепловыми потоками, падающими на монитор, и необходимостью точной термостабилизации детекторов монитора. Для этого соискателем разработана двухрадиаторная система термостабилизации детекторов, для которой была выполнена оптимизация ориентации и соотношения площадей радиаторов, что позволило минимизировать колебания температуры пассивной части системы термостабилизации.

Созданная соискателем система полетной калибровки обеспечивает ввод в поле зрения детекторов радиоизотопных рентгеновских источников с тарированным потоком. Успешность разработанного технического решения подтверждена тем, что данная система была заимствована из эксперимента MBH в телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского, входящего в состав космической обсерватории «Спектр-РГ» и уже более 2-х лет успешно выполняет свои функции в реальных условиях космоса.

Исследования Д.В. Сербинова содержат существенную теоретическую часть. В этой части соискатель провел моделирование ожидаемых данных эксперимента и определил наиболее оптимальный набор наблюдений, использование которых для определения КРФ обеспечивает минимальную суммарную ошибку измерения. Для этого соискателем выполнено обоснование величины поля зрения монитора, выбраны используемые для измерения участки орбиты на основании анализа влияния радиационных условий на результаты измерений, минимизирована систематическая ошибка

измерения за счет исключения из поля зрения отдельных ярких источников из каталога SWIFT BAT.

К достоинствам работы необходимо отнести ее экспериментальную часть. Большое количество наземных экспериментов, проведенных по программам, предложенных соискателем и с использованием экспериментальных систем, разработанных им специально для данных экспериментов, позволило подтвердить основные характеристики монитора.

В целом можно заключить, что совокупность задач, решенных соискателем, позволила достичь поставленной в диссертации цели по созданию аппаратно-методических средств для проведения эксперимента по высокоточному измерению космического рентгеновского фона

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации

Результаты, выносимые на защиту, получены лично автором диссертации.

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность полученных в диссертации результатов основана на:

- публикации результатов исследований в ведущих российских и зарубежных рецензируемых журналах по астрофизике и космическому приборостроению;
- апробации результатов исследования (в том числе в виде устных докладов) на российских и международных конференциях (НЕА, «Фундаментальные и прикладные космические исследования»), а также на научных семинарах.
- экспериментальных исследований характеристик создаваемых аппаратных средств эксперимента МВН;
- опытной проверке работы системы полетной калибровки МВН в реальных условиях космического пространства в составе телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского с 2019 г. по настоящее время.

Научная новизна и практическая значимость результатов исследований

Научная новизна проведенных исследований состоит в создании аппаратных и методических средств, позволяющих в процессе космического эксперимента измерить поверхностную яркость КРФ со значительно более

высокой точностью по сравнению с предыдущими измерениями.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанные методики и технические решения могут быть использованы для рентгеновских астрофизических приборов различных типов.

Ценность научных работ соискателя

Основные результаты диссертации изложены в следующих статьях:

1. **Д. В. Сербинов**, Н. П. Семена, А. Н. Семена, А. А. Лутовинов, В. В. Левин, С. В. Мольков, А. В. Кривченко, А. А. Ротин, М. В. Кузнецова «Монитор Всего Неба для высокоточного измерения космического рентгеновского фона с борта МКС», Письма в Астрономический Журнал, том 48, № 4, с. 243-264, 2022.

2. **Serbinov, D. V.**; Pavlinsky, M. N.; Semena, A. N.; Semena, N. P.; Lutovinov, A. A.; Molkov, S. V.; Buntov, M. V.; Arefiev, V. A.; Lapshov, I. Y. MVN experiment – All Sky Monitor for measuring cosmic X-ray background of the Universe onboard the ISS, Experimental Astronomy 51, 493-514 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10686-021-09699-8>.

3. **Serbinov, D. V.**; Semena, N. P.; Pavlinsky, M. N. Opposite Radiators Used for Thermostabilizing of X-Ray Detectors of the All-Sky Monitor to be Installed on the ISS. Journal of Engineering Thermophysics, 2017, Vol. 26, №3, pp. 366-376.

4. **Сербинов Д. В.**, Семена Н. П., Павлинский М. Н., Арефьев В. А. Возможности и ограничения орбитальных космических станций для проведения астрофизических экспериментов. – Инженерная физика, 2018, №4, с. 33 – 48.

5. Revnivitsev, M.; Semena, N.; Akimov, V.; Levin, V.; **Serbinov, D.**; Rotin, A.; Kuznetsova, M.; Molkov, S.; Buntov, M.; Tambov, V.; Lapshov, I.; Gurova, E.; Simonenkov, D.; Tkachenko, A.; Pavlinsky, M.; Markov, A.; Konoshenko, V.; Sibirtsev, D. MVN: x-ray monitor of the sky on Russian segment of ISS, Proc. SPIE 8443, Space Telescopes and Instrumentation 2012: Ultraviolet to Gamma Ray, 844310 (17 September 2012); doi: 10.1117/12.925916; <http://dx.doi.org/10.1117/12.925916>.

6. Pavlinsky, M.; Tkachenko, A.; Levin, V.; Alexandrovich, N.; Arefiev, V.; Babushkin, V.; Batanov, O.; Bodnar, Yu.; Bogomolov, A.; Bubnov, A.; Buntov, M.; Burenin, R.; Chelovekov, I.; Chen, C.-T.; Drozdova, T.; Ehlert, S.; Filippova, E.; Frolov, S.; Gamkov, D.; Garanin, S.; Garin, M.; Glushenko, A.; Gorelov, A.; Grebenev, S.; Grigorovich, S.; Gureev, P.; Gurova, E.; Ilkaev, R.; Katasonov, I.

Grebenev, S.; Grigorovich, S.; Gureev, P.; Gurova, E.; Ilkaev, R.; Katasonov, I.; Krivchenko, A.; Krivonos, R.; Korotkov, F.; Kudelin, M.; Kuznetsova, M.; Lazarchuk, V.; Lomakin, I.; Lapshov, I.; Lipilin, V.; Lutovinov, A.; Mereminskiy, I.; Molkov, S.; Nazarov, V.; Oleinikov, V.; Pikalov, E.; Ramsey, B. D.; Roiz, I.; Rotin, A.; Ryadov, A.; Sankin, E.; Sazonov, S.; Sedov, D.; Semena, A.; Semena, N.; **Serbinov, D.**; Shirshakov, A.; Shtykovsky, A.; Shvetsov, A.; Sunyaev, R.; Swartz, D. A.; Tambov, V.; Voron, V. and Yaskovich, A. "The ART-XC telescope on board the SRG observatory", *A&A* 650, A42 (2021), <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202040265>.

Журналы, в которых опубликованы результаты диссертации, входят в международные реферативные базы данных и системы цитирования и в перечень ВАК. Данные журналы являются ведущими изданиями по соответствующим научным направлениям, что позволяет сделать вывод о высокой ценности опубликованных в них материалов.

**Соответствие содержания диссертации паспорту специальности
01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия»**

Работа Д.В. Сербинова посвящена созданию рентгеновского монитора и разработке методики, позволяющих измерить космический рентгеновский фон со значительно более высокой точностью по сравнению с имеющимися измерениями.

Данное направление исследований соответствует следующим положениям специальности 01.03.02:

«Астрофизика и звездная астрономия – область науки, относящаяся к исследованию: физических процессов, происходящих ... в космических средах ..., а также к созданию и использованию новых приборов, методов наблюдений и их интерпретаций, связанных с перечисленными выше направлениями исследований

...

Области исследований:

Исследование физических процессов, связанных с генерацией излучения (электромагнитного, нейтринного, гравитационного), распространения и поглощения излучения в космических средах; разработка методов анализа электромагнитного излучения в различных спектральных диапазонах в применении к астрономическим наблюдениям ...».

ВЫВОД. Кандидатская диссертация «Аппаратно-методическое обеспечение эксперимента МВН по высокоточному измерению космического

выполненной Сербиновым Дмитрием Владимировичем самостоятельно, в которой решена задача по созданию аппаратных и методических средств для проведения эксперимента на МКС по высокоточному измерению космического рентгеновского фона со значительно более высокой точностью по сравнению со всеми предыдущими измерениями. Тема работы актуальна. Работа обладает научной новизной, практической значимостью, а также внутренним единством. Полученные результаты научно обоснованы не только теоретически, но и экспериментально, в том числе путем использования одной из созданных соискателем систем в космической обсерватории «Спектр-РГ». Диссертация содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты.

Таким образом, диссертационная работа «Аппаратно-методическое обеспечение эксперимента МВН по высокоточному измерению космического рентгеновского фона» Сербинова Дмитрия Владимировича соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней», утвержденному Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия».

Заключение принято на заседании НТС отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН. Присутствовало на заседании 18 чел. Результаты голосования: «за» - 18 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 03-52-1 от «28» марта 2022 г.

Ученый секретарь НТС
отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН,
к.ф.-м.н.

В.А. Арефьев