

ОТЗЫВ

официального оппонента Рунцо Михаила Федоровича
на диссертацию

Дмитрия Владимировича Сербинова

«Аппаратно-методическое обеспечение эксперимента МВН по
высокоточному измерению космического рентгеновского фона»

на соискание степени кандидата технических наук

по специальности

01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия»

Диссертация Сербинова Дмитрия Владимировича посвящена разработке аппаратно-методического обеспечения эксперимента по высокоточному измерению космического рентгеновского фона (КРФ).

Ценность КРФ состоит в том, что его поверхностная яркость содержит в себе излучение всех сколь угодно слабых объектов во Вселенной, даже таких, которые невозможно наблюдать отдельно рентгеновскими телескопами из-за их конечной чувствительности. Это позволяет использовать точные знания потока и спектра КРФ для решения чрезвычайно значимых астрофизических задач. 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. В случае выделения действительно распределенного излучения в спектре КРФ абсолютная нормировка потока позволит связать оценки концентрации его источника с процессом формирования этого диффузионного излучения.

После открытия КРФ в 1962 году задача измерения его потока и спектра ставилась практически перед всеми рентгеновскими космическими обсерваториями. Однако, несмотря на востребованность информации о точном знании КРФ, систематическая погрешность этих измерений до сих пор составляет 15-20 %.

Таким образом, задача высокоточного измерения поверхностной яркости КРФ является значимой задачей в области экспериментальной астрофизики, а разработка средств и методов для космического эксперимента, позволяющего осуществить эти измерения, - крайне актуальная задача космического научного приборостроения.

Также хочу отметить практическую значимость полученных в диссертации результатов. Представленные в ней рекомендации будут весьма полезны в проектировании космических аппаратов (КА) для будущих миссий. Структура диссертационной работы соответствует описанному кругу задач.

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Объем диссертации составляет 134 страницы и включает 83 рисунка и 11 таблиц. Список литературы содержит 55 наименований.

Во введении дается краткий обзор текущего состояния проблемы, обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется её цель, научная и практическая значимость. Здесь же указан личный вклад автора в получение результатов, вошедших в диссертацию и данные по апробации полученных результатов.

В первой главе проводится обзор способов и проблем высокоточного измерения поверхностной яркости КРФ. В ней рассмотрены задача измерения, способы её решения, аппаратные проблемы измерения, подробно проанализированы возможности и ограничения МКС как площадки для измерения КРФ.

Проанализированы возможные способы измерения КРФ: использование пассивной и антисовпадательной защиты, фильтрация по скорости роста фронта сигнала, использование перекрытия апертуры Земли и модуляции поля зрения прибора. На основе сравнительного анализа этих методов в качестве основного выбран метод модуляции поля зрения прибора.

Сформулированы основные аппаратные проблемы точного измерения КРФ: проблема точной энергетической калибровки детектора, проблема отделения КРФ от внеапертурного фона детектора и проблема точной абсолютной калибровки измеренного потока.

Рассмотрены возможности и ограничения МКС как площадки для измерения КРФ с точки зрения тепловых условий на борту, собственной атмосферы орбитальной станции, наличия атомарного кислорода на орбите.

Проанализированы механические воздействия на аппаратуру (микровибрации), радиационные условия на орбите, а также влияние на надежность аппаратуры метеорных и техногенных тел на орбите. Рассмотрены особенности размещения аппаратуры на борту орбитальной станции. Описана методика обработки данных измерений с определением соотношения значимости регистрации КРФ и используемой доли неба.

Вторая глава посвящена описанию аппаратуры эксперимента, решению проблемы отделения КРФ от внеапертурного фона аппаратными средствами и методике решения проблемы учёта апертурного фона.

Предложена методика измерения поверхностной яркости КРФ на базе метода модуляции апертуры.

Проведено моделирование обзора всего неба рентгеновским монитором, в рамках которого осуществлен расчет поля зрения КРФ в среде Matlab методом Монте-Карло, построены карты экспозиции неба и рассчитана точность измерения поверхностной яркости КРФ.

В третьей главе описаны конструкция и состав рентгеновского монитора СПИН-Х1-МВН (МВН – монитор всего неба), предназначенного для работы на борту МКС с использованием пиксельных полупроводниковых детекторов на основе кристаллов CdTe. Проведен расчет многослойной пассивной защиты детектора, описано устройство модуляции внешнего

сигнала (обтюратор для периодического открытия апертуры). Описана методика обеспечения требуемого теплового режима детектора при помощи разработанной системы обеспечения теплового режима (СОТР) и методика полетной калибровки.

Четвертая глава посвящена экспериментальной отработке рентгеновского монитора и его составных частей.

Создана экспериментальная установка для проведения термовакuumных испытаний (ТВИ) образцов монитора всего неба и проведены соответствующие испытания, которые показали, что уровень стабилизации температуры значительно выше поставленных требований.

Для определения экспериментальных характеристик блоков калибровочных источников (БКИ) была создана вакуумная установка с имитатором внешних тепловых условий на базе термоэлектрических модулей и проведены ресурсные испытания при минимальной температуре, которые показали, что аппаратура удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Проведены успешные исследования работы системы модуляции апертуры.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в диссертации.

Научная новизна результатов диссертации заключается в том, что:

- впервые для подобного класса аппаратуры разработано аппаратно-методическое обеспечение космического эксперимента по высокоточному измерению КРФ с борта МКС, позволяющее решить три основные проблемы измерения: проблему разделения КРФ и внеапертурного фона прибора, проблему учёта апертурного фона и проблему точной энергетической и абсолютной калибровки прибора;
- для решения проблемы разделения КРФ и внеапертурного фона прибора на базе имеющихся рентгеновских детекторов впервые разработан адаптированный для работы на МКС монитор с вращающимся экраном, реализующим метод модуляции апертуры;
- для решения проблемы учёта апертурного фона впервые разработана методика отбора данных, обеспечивающая снижение суммарной ошибки измерения КРФ до целевого уровня 1 % за три года непрерывных наблюдений, что на порядок превышает достигнутые результаты в отношении суммарной ошибки измерения КРФ;
- в обеспечение решения проблемы точной энергетической и абсолютной калибровки монитора разработаны прецизионная система термостабилизации рентгеновских детекторов и система их полетной калибровки;
- расчетные параметры основных систем рентгеновского монитора подтверждены экспериментальными исследованиями.

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

Достоверность и обоснованность представленных в диссертации результатов. Все выносимые на защиту положения хорошо обоснованы, их достоверность сомнений не вызывает.

Работоспособность аппаратуры с соблюдением необходимой точности измерений подтверждается проведенным математическим моделированием обзора всего неба рентгеновским монитором, расчетом точности измерения поверхностной яркости КРФ, экспериментальными измерениями характеристик СОТР, блоков калибровочных источников и системы модуляции апертуры.

Достоверность представленных результатов также подтверждается апробацией в российских и международных журналах и на научных конференциях.

Полнота представления результатов.

Результаты диссертации представлены в пяти научных статьях. Все эти статьи опубликованы в высокорейтинговых изданиях, входящих в международные базы данных (WOS, Scopus) и рекомендованных ВАК для представления результатов диссертаций. В четырех работах диссертант является первым автором. Во всех работах личный вклад автора обозначен как основной или равный вкладу соавторов. Результаты диссертации прошли солидную апробацию на научных семинарах и пяти научных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Соответствие диссертации заявленным специальностям.

Диссертация посвящена исследованию космического рентгеновского излучения на орбите МКС, что соответствует специальности 01.03.02. («Астрофизика и звездная астрономия»). Разработка и определение характеристик монитора рентгеновского излучения вносит существенный вклад в данную научную специальность.

Текст автореферата соответствует тексту диссертации.

Все положения, выносимые на защиту, представлены в публикациях.

Текст диссертации соответствует паспорту специальности и соответствующей отрасли технических наук.

Замечания по диссертации:

1. Не указано, каким способом (измерение, расчет) получены данные по переменности падающих на прибор тепловых потоков, приведенные на рисунке 1.4.

2. Ошибочно пронумерован рисунок 18 (который очевидно должен нумероваться как рисунок 2.7).
3. Не указано, является ли приведенная на странице 54 матрица А заимствованием из какого-либо источника или результатом работы диссертанта.
4. На странице 83 не описана методика измерения (или расчета) функции поглощения рентгеновского излучения слоями пассивной защиты, представленной на рисунке 3.10.
5. На странице 84 не проанализирован возможное влияние балансира, расположенного на обтюраторе (прерывателе потока рентгеновского излучения), на фоновые условия измерения и даже не указаны материалы и размеры этой детали.
6. На странице 121 на рисунке 4.7. указано сокращение ТЭМ, которое не расшифровано в тексте или подписи к рисунку, хотя из текста следует, что это сокращение обозначает «термоэлектрический модуль».

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационной работы и не влияют на ее общую высокую оценку. Текст написан хорошим научным языком, практически не содержит орфографических ошибок и хорошо иллюстрирован.

Полученные результаты могут быть использованы в ФИАН, ИКИ РАН, МГУ им. Ломоносова, НИЯУ МИФИ, НПО им. Лавочкина, ЦНИИМАШ и других организациях, разрабатывающих КА и аппаратуру для них для будущих космических проектов.

Заключение. Таким образом, диссертация «Аппаратно-методическое обеспечение эксперимента МВН по высокоточному измерению космического рентгеновского фона» Д.В. Сербинова удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата технических наук по специальностям 01.03.02 – «Астрофизика и звездная астрономия», а её автор Д.В. Сербинов, несомненно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по данной специальности.

Официальный оппонент,

М.Ф. Рунцо

кандидат физ.-мат. наук

по специальности 01.04.01: Приборы и методы экспериментальной физики

Доцент кафедры «Экспериментальные методы ядерной физики»

НИЯУ МИФИ

115409, Москва, Каширское шоссе, 31

mfruntso@mephi.ru

+7(916) 118-16-92

10 августа 2022