

ЭКСПЕРИМЕНТ «МОНИТОР ВСЕГО НЕБА»: ЧЕРЕЗ ТЕРНИИ НА МКС



СЕМЕНА Николай Петрович,

доктор технических наук

Институт космических исследований РАН



DOI: 10.7868/50044394825030041

Поступила в редакцию: 02.06.2025

Принята к публикации: 02.06.2025

ВВЕДЕНИЕ

«Что это! Этого здесь быть не должно!» Именно такой фразой, смысл которой станет ясен несколько позднее, был закончен этап подготовки космического эксперимента «Монитор всего неба» («МВН») и начат этап научных наблюдений. Это произошло 27 декабря 2024 г. А до этого дня был долгий период разочарований и надежд, ошибок и озарений, рискованных решений и, казалось бы, тупиковых ситуаций.

Странности сопровождали эксперимент «МВН» постоянно. В какой-то момент стало ясно, что строить какие-то строгие планы, связанные с ним,

весьма и весьма проблематично. Самым мудрым решением оказалось плыть по течению, ведь даже на масштабе года все, связанное с подготовкой этого эксперимента, могло меняться самым кардинальным образом! Преображались задачи, полностью изменялась аппаратура, непредсказуемо сменяли друг друга требования со стороны Международной космической станции (МКС). И так происходило множество раз.

Свой непредсказуемый характер эксперимент «МВН» подтвердил и после начала наблюдений, выдав несколько неожиданных от него, труднообъяснимых, но весьма любопытных результатов.

Сейчас, когда аппаратура уже работает, можно сказать, что самые значительные неопределенности все же остались позади.

Теперь кратко о самом эксперименте «МВН». Место проведения: российский сегмент МКС (РС МКС). Основная научная задача: определение поверхностной яркости космического рентгеновского фона (КРФ) с более высокой точностью по сравнению с имеющимися измерениями. Состав аппаратуры: рентгеновский монитор «СПИН-Х1-МВН» и блок управления (БУ «МВН»).

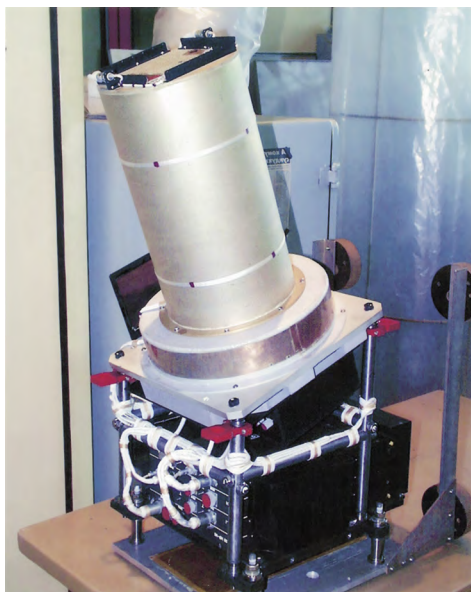
Аппаратура полноценно работает, но при этом оказалось, что условия ее эксплуатации несколько отличаются от прогнозируемых.

В этой статье сделана попытка описания становления эксперимента и его трансформации от рождения до первых результатов. История «МВН» – это наглядная иллюстрация сложного и тернистого пути практически любого космического эксперимента, доведенного до запуска.

Пусть меня извинят все участники проекта «МВН», но в статье будут упомянуты только некоторые имена, которые нельзя не упомянуть. Что касается остальных, то либо говорить обо всех, потому что каждый является по своему направлению незаменимым, а это насытит статью неинтересными большинству подробностями, либо оставить все события безымянными, что и было сделано. Отмечу только, что имена основных участников эксперимента представлены в конце статьи. Они делали все возможное для успеха эксперимента. Кроме того, неоценимую помощь проекту оказывали кураторы из АО РКК «Энергия». Проект постоянно задерживался, ему грозило закрытие, и только их усилия предотвратили такой финал.

«МВН»: НАЧАЛО

Как это часто бывает, рождение чего-то нового связано со смертью чего-то старого. Так было и с экспериментом «МВН». В конце 1980–1990 гг. родился, достиг апогея, а затем медленно уходил с научной сцены первый вариант проекта «Спектр-Рентген-Гамма» (СРГ). Это был грандиозный проект с участием многих зарубежных партнеров, в результате которого на земной орбите должна была развернуться – в прямом смысле этого слова, поскольку под обтекателем ракеты-носителя в развернутом виде она не помещалась, – колоссальная обсерватория с приборами, наблюдающими космические объекты в спектральных диапазонах от ультрафиолета до гамма. По прошествии лет стало ясно, что, с учетом царившего в те времена социально-политического хаоса, вряд ли можно было ожидать ее реального запуска. Однако энтузиасты,



Широкоугольный рентгеновский монитор «СПИН-Х»

которые борются за результат до последнего, были всегда. Одним из таких энтузиастов был заместитель директора ИКИ РАН по направлению астрофизики Михаил Николаевич Павлинский. Хотя проект сходил на нет, благодаря усилиям Михаила Николаевича для СРГ удалось создать ряд уникальных приборов, одним из которых был прибор «СПИН-Х».

Данный прибор был полностью отечественным. Он был создан в Особом конструкторском бюро ИКИ РАН (г. Фрунзе, Киргизская ССР). «СПИН-Х» представлял собой широкоугольный рентгеновский монитор с кодированной апертурой и газонаполненным детектором.

Принцип его работы был следующий. Рентгеновский фотон попадал через рентгенопрозрачное бериллиевое окно толщиной 0.5 мм и диаметром 250 мм в камеру, наполненную сверхчистым ксеноном под давлением 25 атм. Внутри камеры размещались два чувствительных проволоочных слоя. Каждый такой слой состоял из ста восьмидесяти параллельных тонких проволоочек. Расстояние между проволоочками составляло 1 мм. При этом между слоями имелась разность электрических потенциалов, а ориентация проволоочек одного слоя была перпендикулярна ориентации другого слоя. Попавший в камеру через рентгенопрозрачное окно фотон создавал ионизированный канал в газе, через который затем происходил разряд между находящимися в зоне этого канала проволоочками верхнего и нижнего слоев. По номеру проволоочек, через которые проходил разряд, определялись координаты попадания фотона, а по мощности разряда – его энергия. Фотоны проходили через маску сложной конфигурации (кодирующую апертуру) из вольфрамовых элементов. По расположению тени этой маски на чувствительных слоях

камеры определялось направление на небесный рентгеновский источник.

Термин «уникальность» по отношению к прибору «СПИН-Х» не был фигурой речи. Для его создания было разработано с нуля несколько десятков новых технологий. Перечислим некоторые из них.

1. Точение на станке бериллиевого окна толщиной 0.5 мм и диаметром 250 мм.

2. Полностью бесконтактные операции по пайке, контролю положения и натяжению проволоочек для сохранения точности их позиционирования с точностью 15 мкм.

3. Специальная процедура и технологическое оборудование, обеспечивающие одинаковое (в диапазоне 5%) натяжение всех ста восьмидесяти проволоочек каждого слоя.

4. Контроль натяжения проволоочек по их акустическим колебаниям, возбуждаемым электромагнитными импульсами.

5. Создание технологического комплекса по очистке ксенона до уровня, не достижимого на тот момент в СССР.

И многое другое.

С учетом затраченных на создание прибора усилий, выбрасывать его на свалку Михаил Павлинский не намеревался. Он решил использовать для этого существующий, но практически нежизнеспособный проект «МВН», предполагавший установку некоего абстрактного рентгеновского прибора на МКС. По задумке Михаила Николаевича место абстрактного прибора должны были занять два монитора «СПИН-Х1» и «СПИН-Х2», установленные на внешней поверхности МКС под углом друг к другу, что позволило бы проводить обзор всего неба в рентгеновском диапазоне энергий.

Препятствий для такого проекта было два: бюрократическое и политическое. Бюрократическое состояло

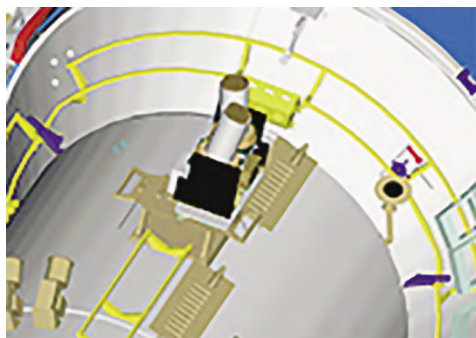


Схема размещения двух широкоугольных мониторов «СПИН-Х1» и «СПИН-Х2» на модуле «Звезда» МКС

в необходимости получения разрешения на использование приборов, созданных в рамках одного проекта, в другом проекте. С этим препятствием Михаил Николаевич справился успешно. Его стараниями было подписано совместное решение Российского космического агентства (РКА) и РАН о возможности такого использования. Однако политическое препятствие эту возможность как раз и загубило. Так, за время создания прибора, г. Фрунзе превратился в г. Бишкек, ОКБ ИКИ – в ОКБ «Аалам» (в переводе с киргизского – «Вселенная»), а Киргизская ССР – в Республику Кыргызстан, которой было не до космических исследований. ОКБ «Аалам», стараниями бывших сотрудников филиала ИКИ РАН, пыталось сохранить разработанные уникальные технологии, но в тех условиях сделать это было невозможно. Все больше технологического оборудования отправлялось на свалку, а освободившиеся помещения использовались под склады и швейное производство.

Но надежда оставалась, поскольку оставались три работоспособных образца прибора. Один был пригоден для необходимых наземных испытаний, а два предназначались для летного

эксперимента. И вот перед принятием окончательного решения об отправке аппаратуры в Россию последние проверки показали, что газонаполненная камера одного из детекторов недостаточно герметична. Потеря необходимых технологий уже не позволяла ОКБ «Аалам» восстановить камеру и заново наполнить ее сверхчистым ксеноном. Да и случай этот показал, что любая, даже мелкая неисправность будет критичной, поскольку ее устранение потребует использования технологического оборудования, которого уже не было, и привлечения специалистов, которые к тому моменту могли уже уволиться. Казалось, что «МВН» снова переходит в стадию нежизнеспособных проектов.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПЕРИОД

К этому моменту, опять же стараниями Михаила Павлинского, стала проявляться идея возрождения проекта СРГ. Несмотря на то, что простейшим решением было бы ограничиться поиском международных партнеров с готовыми приборами (всегда имеются желающие участвовать в реальной космической миссии, у которых есть разработанные приборы, но нет доступа в одобренную миссию), установить их на типовую российскую платформу и назвать все это российско-иностранной обсерваторией, Михаил Николаевич пошел другим, беспрецедентно рискованным путем. Его принципиальная позиция состояла в том, что аппаратура СРГ обязательно должна включать отечественный рентгеновский телескоп. Впоследствии он стал называться ART-ХС (Павлинский и др., 2021), а после безвременного ухода Михаила Николаевича Павлинского из жизни (1959–2020) получил его имя (Лутовинов, 2022).

Только сейчас становится понятным, насколько это было смелым решением при практически разваленной высокотехнологичной промышленности в России. Однако время показало, что решение было верным. Оно позволило создать новые российские уникальные технологии, а в ИКИ РАН дало возможность сохранить научно-инженерную приборостроительную школу в области астрофизики высоких энергий и в конечном итоге дало шанс эксперименту «МВН» состояться.

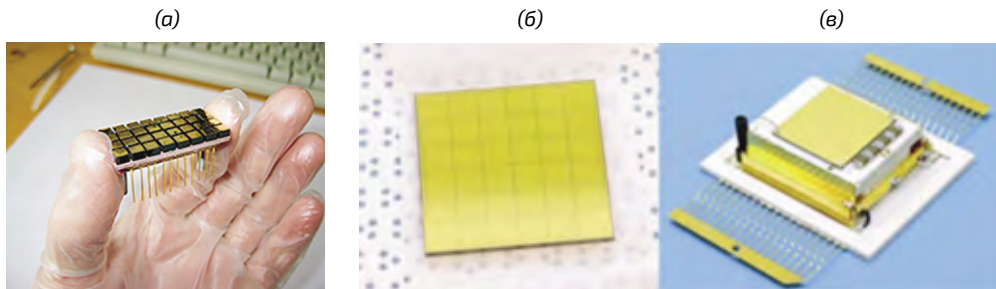
К тому времени газонаполненные приемники излучения отошли в прошлое и доминирующими стали полупроводниковые детекторы. Для рентгеновского телескопа необходимо было решить две проблемы: сделать детекторы и сделать оптическую систему. И это были сверхзадачи, которые и сейчас решаются только в самых технологически развитых странах и в широкой кооперации.

На этом этапе снова происходит встреча «МВН» и возрождающегося СРГ. Идея Михаила Павлинского заключалась в том, что если мы будем создавать полупроводниковые детекторы для ART-XC, почему бы такие же детекторы не использовать для «МВН». В остальном прибор должен быть простейшим для сокращения времени его создания. Этим решились бы сразу две проблемы: доводится до логического окончания рентгеновский проект на МКС и проводится летная отработка детекторов первого российского рентгеновского телескопа с оптикой.

Так родился «МВН» на базе полупроводниковых детекторов, первоначально создаваемых для СРГ. Таким образом, новую жизнь проекту «МВН» дало возобновление СРГ. С тех пор эти два проекта шли рука об руку заимствуя технические решения, технологии и даже готовые узлы друг у друга.

Первое, что сделал Михаил Николаевич Павлинский в тот период – это сформировал группу по созданию спектрометрических позиционно чувствительных рентгеновских детекторов. Группа оказалась крайне эффективна. Благодаря целеустремленности и неотвлечению на другие задачи за несколько лет удалось пройти путь от ручного паяльника до использования самого совершенного технологического оборудования и наиболее высокотехнологичных решений. Самое главное, группе удалось освоить все имеющиеся на сегодняшний день знания и приемы работы с полупроводниковыми детекторами. Существенную помощь в понимании процесса создания детекторов оказали французские коллеги, сделавшие детекторы ISGRI для космического аппарата INTEGRAL.

Первые образцы детекторов были изготовлены с использованием кристаллов CdZnTe производства ОАО «ГИРЕДМЕТ». Именно специалисты этого предприятия помогли освоить технологии изготовления детекторов на основе кристаллов CdTe и CdZnTe. Сначала были освоены одноэлементные детекторы, а затем и многоэлементные. Достаточно быстро стало понятно, что требуемую однородность характеристик по площади детектора можно достичь, используя только монокристаллы CdTe или CdZnTe большого размера с изготовлением отдельных элементов на кристалле с помощью процесса фотолитографии. Для проекта СРГ требовался кристалл размером не менее $30 \times 30 \text{ мм}^2$. К сожалению, ОАО «ГИРЕДМЕТ» на тот момент могло производить кристаллы CdZnTe требуемого качества площадью не более $10 \times 10 \text{ мм}^2$ и не обладало технологией фотолитографии для изготовления сложных конфигураций электродов на кристаллах. Поэтому после долгих поисков и консультаций и в России,



Детекторы «МВН» в начале и в конце разработки аппаратуры. Первый вариант детектора, сделанный из отдельных кристаллов CdZnTe производства ОАО «ГИРЕДМЕТ», размер каждого из 32 кристаллов $4.0 \times 4.0 \times 2.5 \text{ мм}^3$ (а). Целиковый кристалл CdTe с 32 чувствительными элементами, произведенный фирмой ACRORAD (б). Летный вариант детектора, изготовленный из данного кристалла на высокотехнологичном оборудовании, введенном в строй за время разработки аппаратуры (в)

и в других странах были налажены связи с японской фирмой ACRORAD, которая и произвела кристаллы CdTe для детекторов этих двух проектов, при этом совершенствуя свою продукцию в течение всего периода создания аппаратуры. Особенности детекторов этого типа заключаются в работе в жестком диапазоне энергий и при сравнительно высокой для полупроводниковых детекторов рабочей температуре. Первоначально считалось, что детекторы «МВН» будут работать в диапазоне энергий 6–70 кэВ при температуре -30°C . В действительности же был достигнут рабочий диапазон энергий 4–110 кэВ при температуре детекторов -20°C . Непродолжительное время они могли работать при более высокой температуре, вплоть до $+10^\circ\text{C}$.

Наличие качественных полупроводниковых кристаллов являлось не единственной проблемой создания детекторов. Они должны работать в паре со специализированной интегральной микросхемой (Application Specific Integrated Circuit – ASIC), которая обычно разрабатывается индивидуально для конкретного детектора. В то время в России не было организа-

ций, способных разработать и произвести подобную микросхему. Поэтому для детекторов «МВН» были использованы ASIC VA32TA, норвежской фирмы IDEAS, которые разрабатывались для работы с детекторами в ускорителях частиц. Использование ASIC VA32TA для детектора рентгеновского излучения изначально было нетривиальной задачей. Но специалистам ИКИ РАН, благодаря нестандартной настройке микросхемы, удалось максимально приблизиться к оптимальному режиму ее работы с кристаллом CdTe. Детекторы совершенствовались в течение всего времени разработки «МВН».

В летном образце «МВН» находится четыре таких детектора. Размер каждого $24 \times 24 \times 1 \text{ мм}^3$ (чувствительная площадь 4.58 см^2) при размере одного элемента $3.7 \times 3.7 \text{ мм}^2$. Его энергетическое разрешение на энергии 13.9 кэВ составляет от 1.15 до 1.65 кэВ. «Мертвое» время составляло 350 мкс (Левин, 2024).

«МВН» безнадежно отставал от СРГ. Проекту катастрофически не везло. Год заняло улаживание ситуации из-за введения новых требований к сертификации оборудования для МКС. «МВН» этим требованиям не мог удов-

летворить, потому что было необходимо провести дополнительные сертификационные испытания, а для этого закупить дополнительную партию электронных компонентов. Сделать же это было невозможно, поскольку к тому моменту они уже входили в санкционный список. Уговаривание всех контрольных органов с помощью кураторов РКК «Энергия» заняло год.

Два года проект был на паузе, пока правоохранители разбирались, куда делись направленные из Роскосмоса в РКК «Энергия» деньги, которые в том числе, предназначались для «МВН».

Полтора года заняли дополнительные работы по пожарной, радиационной и санитарно-гигиенической безопасности аппаратуры для пилотируемых станций, о которых разработчики аппаратуры для автоматических аппаратов даже не слышали.

Наконец, стало окончательно понятно, что задача летных испытаний детекторов телескопа ART-XC на аппаратуре «МВН» не может быть выполнена из-за того, что «МВН» явно будет реализован позже СРГ. Тогда снова показалось, что смысл проекта в очередной раз утерян.

А НЕ ЗАМАХНУТЬСЯ ЛИ НАМ НА КОСМИЧЕСКИЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ ФОН?

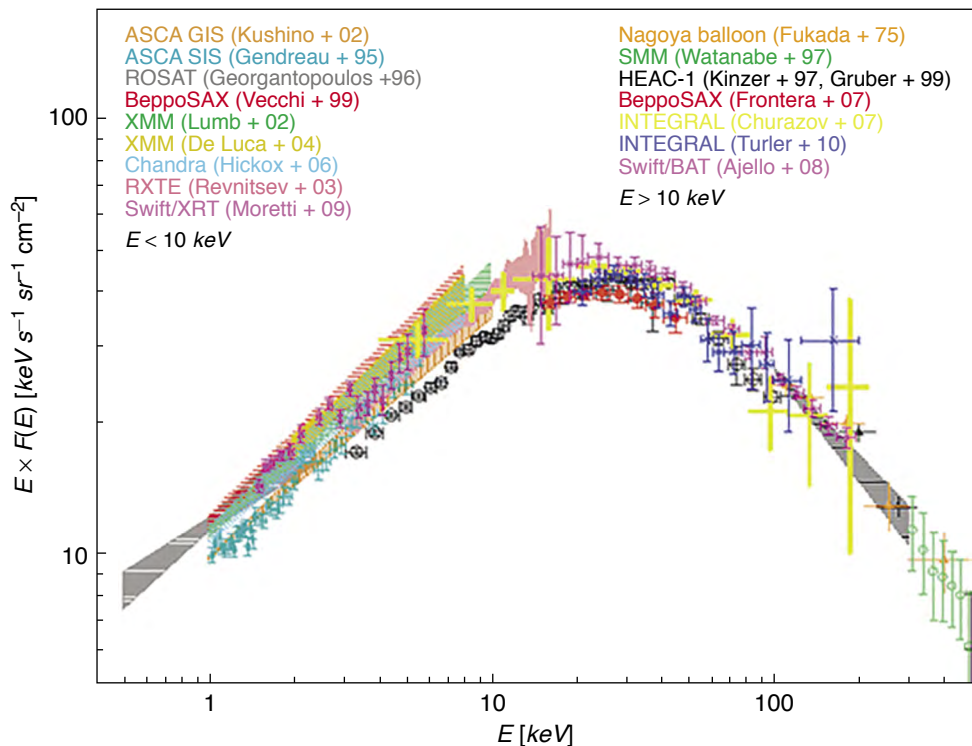
«Неужели вы не видите очевидного?» Так или почти так выразился известный российский астрофизик Михаил Геннадьевич Ревнивцев, ознакомившись с концепцией эксперимента «МВН». Это был ярчайший пример взаимодействия инженеров и ученых. Ученые знают, «что нужно», инженеры, «что можно». Когда они встречаются и договариваются, рождается жизнеспособная концепция эксперимента. Так случилось и в этот раз.

Из объяснений Михаила Ревнивцева следовало, что остается всего один шаг для превращения «МВН» из вспомогательного научно-технологического эксперимента в полноценный значимый научный эксперимент для высокоточного измерения КРФ. Позволю себе процитировать его статью (Ревнивцев, 2014), из которой становится ясно, насколько важна задача измерения КРФ. «Космический рентгеновский фон (КРФ) – это одно из фундаментальных явлений рентгеновской астрономии. Уникальность КРФ состоит в том, что он содержит информацию обо всех источниках рентгеновского излучения во Вселенной, в том числе о тех, которые находятся за пределами чувствительности современных рентгеновских телескопов, что позволяет использовать его для решения ряда фундаментальных научных задач. Например, поверхностная яркость КРФ позволяет оценить рост всех сверхмассивных черных дыр в истории Вселенной».

Поэтому измерить спектр КРФ пытались большинство космических рентгеновских обсерваторий (Джилли, 2013).

Но, как видно из рисунка, точность знания КРФ до сих пор составляет 15–20%. Почему же его так трудно измерить? Это можно пояснить на примере того же «МВН». КРФ является одним из самых слабых явлений рентгеновской астрономии. Из ста событий, которые будут фиксироваться детекторами «МВН», только одно или два будут относиться к фотонам КРФ. При этом никаких отличительных признаков, которые помогли бы их отделить от остальных, эти фотоны не имеют.

Между тем, как сразу понял Михаил Геннадьевич Ревнивцев, в «МВН» имеются все предпосылки для решения этой проблемы. Во-первых, он обозревает 79% небесной сферы,

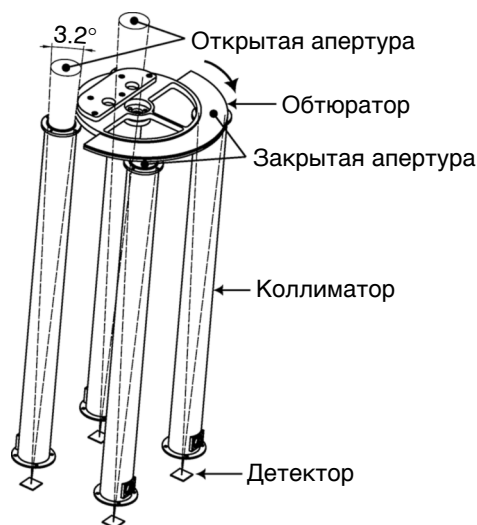


Спектр КРФ по результатам измерения различных обсерваторий (Джилли, 2013)

что позволяет получать информацию о КРФ с большей части неба. Во-вторых, «МВН» летает под радиационными поясами, что сильно снижает воздействующие на детекторы радиационные факторы и, соответственно, уменьшает не относящийся к КРФ «паразитный» сигнал на детекторах. И, наконец, окончательно справляется с проблемой вращающийся экран. Принцип его работы как нельзя лучше иллюстрирует высказывание знаменитого Шерлока Холмса: «Отбросьте все невозможное, то, что останется, и будет ответом, каким бы невероятным он ни казался». В соответствии с этим принципом вместо отделения двух событий, вызываемых КРФ, от ста зафиксированных, решается обратная задача отделения девяноста

восьми не относящихся к КРФ событий от этих ста, а оставшиеся два будут фотонами КРФ. Большинство из этих девяноста восьми событий являются так называемым инструментальным фоном, вызываемым заряженными частицами и флюоресценцией конструкции прибора, активируемой под действием заряженных частиц. Другими словами, частота этих событий не зависит от того, открыта или закрыта апертура прибора. Для измерения КРФ это можно использовать следующим образом. Прежде всего, необходимо ограничить поле зрения детекторов, например, цилиндрическими коллиматорами.

Если перекрывать поле зрения прибора посредством вращающегося экрана (впоследствии названного обтюра-



Система элементов «МВН» для измерения КРФ

тором), как показано на рисунке, то при закрытой апертуре на детекторы воздействует только инструментальный фон, а при открытой – инструментальный фон и внешнее излучение. В отдельных случаях этим внешним излучением и будет КРФ.

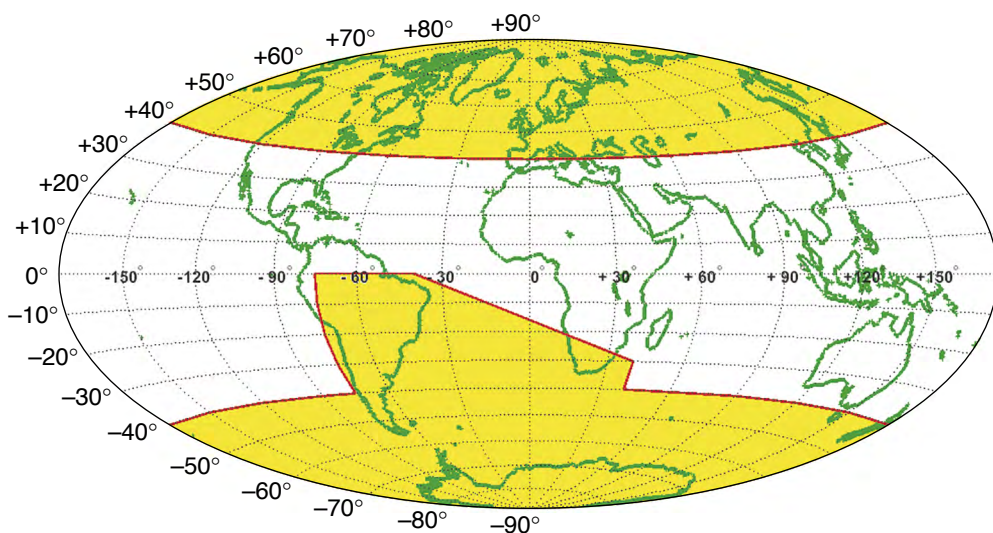
В такой системе усредненный полезный сигнал, относящийся к КРФ, может быть определен следующим образом:

$$\overline{CXB} = \sum_{i=1}^{i=4} (\overline{CXB_i} + \overline{B_i}) - \sum_{k=1}^{k=4} \overline{B_k},$$

где CXB – космический рентгеновский фон, B – внутренний фон детектора, i – номер детектора от 1 до 4 в интервале времени, когда поле зрения открыто, и k – номер детектора в интервале времени, когда поле зрения закрыто. Черты над символами означают усреднение этих величин.

Конечно, все не так просто. На орбите имеются зоны с повышенной радиацией, которые повышают ошибку измерения. Это высокие широты и Южно-атлантическая аномалия. Предварительный анализ показал, что измерения на этих частях орбиты нецелесообразно использовать для определения КРФ (Сербинов, 2021).

На оставшейся области основной частью рентгеновского диффузного излучения неба (отличного от КРФ) является диффузный рентгеновский фон



Исключенные области с высоким радиационным фоном (желтый цвет)



Источники из каталога Swift BAT на карте экспозиции неба «MBN», из которой исключены области с повышенным радиационным фоном и плоскость Галактики



Окончательная карта экспозиции неба в эксперименте «MBN» после исключения ярких рентгеновских источников (49% всего неба и 40% наблюдательного времени), которая дает наилучший вариант для определения яркости КРФ

нашей Галактики. Около галактической плоскости его поверхностная яркость приблизительно на порядок больше, чем КРФ (Ревнивцев, 2009). В жестком рентгеновском диапазоне галактический фон падает примерно

в десять раз при отклонении 10° по широте в обе стороны от экватора (Кривonos, 2007). Поэтому плоскость Галактики в диапазоне широт от -10° до $+10^\circ$ необходимо также исключить из обзора.



Аппаратура «МВН»: рентгеновский монитор «СПИН-Х1-МВН» (слева); БУ «МВН» (справа)

Однако и это еще не все. На оставшейся части неба (~57% небесной сферы и 46% наблюдательного времени) имеются 756 сравнительно ярких рентгеновских источников, каждый из которых может внести значимое искажение в измерение КРФ (Сербин, 2022).

Анализ был проведен для каждого из этих источников. Критерием удаления источника было сравнение, увеличивается или уменьшается общая ошибка измерения КРФ. Данная ошибка складывается из статистической и систематической ошибки. Вырезание области неба увеличивает статистическую ошибку (за счет исключения части неба с КРФ из измерения), но уменьшает систематическую за счет удаления излучения яркого рентгеновского источника, искажающего измерение. И наоборот. Весь вопрос – какая ошибка

больше? Оказалось, что для наилучшей точности измерения необходимо исключить 107 источников.

После разработки метода измерения поверхностной яркости КРФ формирования был окончательно сформирован облик аппаратуры «МВН».

Габаритные размеры рентгеновского монитора «СПИН-Х1-МВН»: $940 \times 661 \times 425 \text{ мм}^3$, масса 51 кг, потребляемая мощность 140 Вт. Монитор имеет четыре детектора площадью по 4.58 см^2 , поле зрения которых ограничено углом 3.2 градуса посредством трехслойных цилиндрических коллиматоров. Это поле зрения перекрывается на 30 сек каждую минуту вращающимся постоянно обтюратором. Монитор устанавливается на универсальном рабочем месте (УРМ-Д) на внешней поверхности РС МКС с зенитной ориентацией.



Основные составные части «СПИН-Х1-МВН»

Необходимо отметить, что название «СПИН-Х1-МВН» – это дань уважения первому монитору «МВН», который, к сожалению, не добрался до космоса. Правда, это означает, что название «СПИН-Х» уже никто не помнит. Далее вспоминает автор.

БУ «МВН» размещается в гермоотсеке и соединяется с монитором через кабельную сеть МКС. БУ «МВН» представляет собой управляющий компьютер на базе процессора AMD George LX800500 MHz.

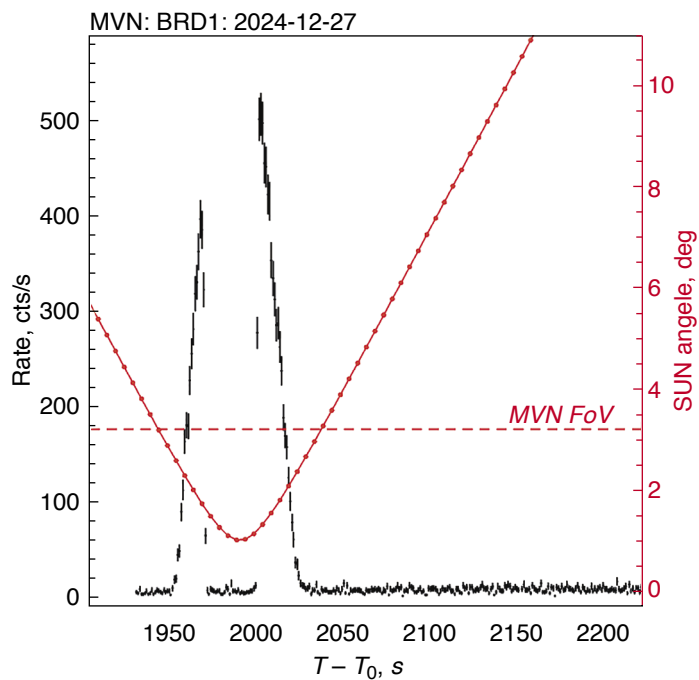
Кроме вышеупомянутых систем в состав монитора входят система обеспечения теплового режима, система полетной калибровки детекторов, электронные блоки и внутренний модуль управления системами. Практически каждая из этих систем является весьма нетривиальной и для ее создания инженерами ИКИ РАН были разработаны оригинальные решения.

«МВН»: ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

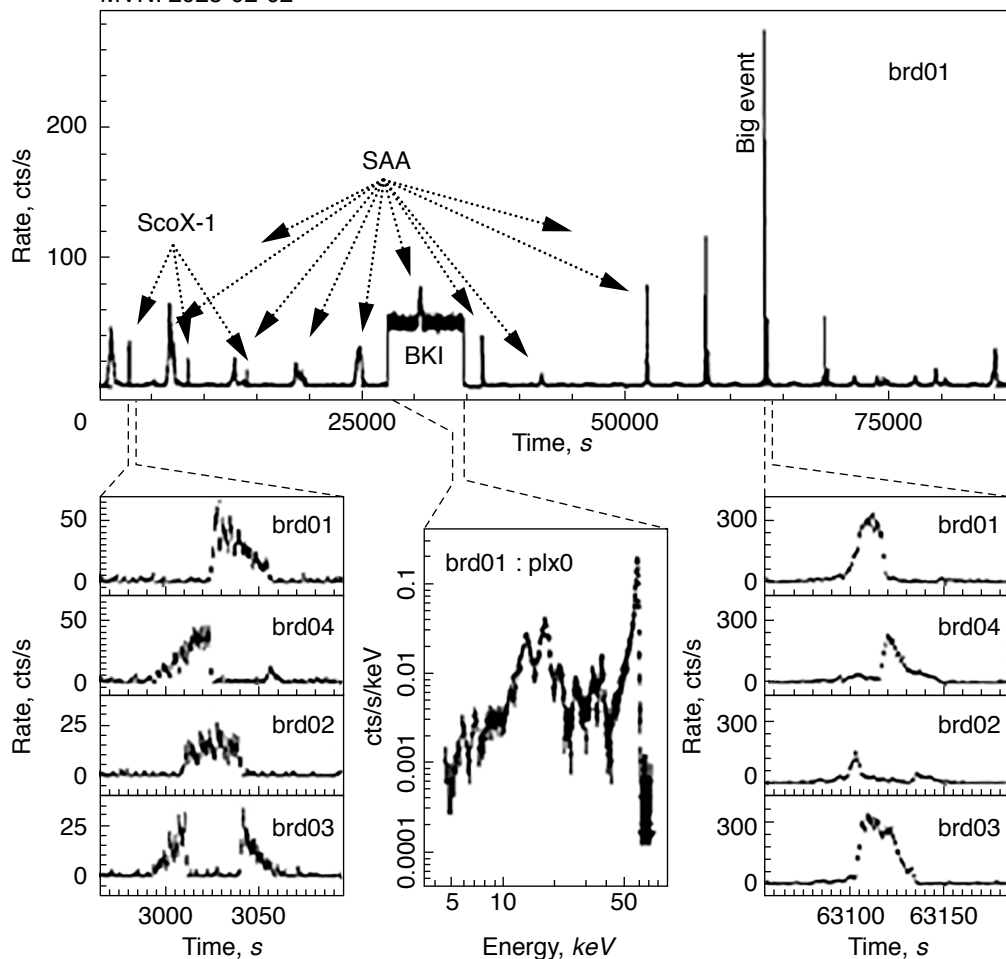
Двенадцатое декабря 2024 года. Ночь. Уже несколько часов наблюдаем как Алексей Овчинин и Иван Вагнер переносят монитор «СПИН-Х1-МВН» по внешней поверхности модуля «Звезда» от люка к универсальному рабочему месту УРМ-Д, где монитор должен быть установлен. Кто-то из комментаторов, рассказывающих о ходе работ, назвал монитор холодильником. Это неправда, холодильник побольше будет, видимо, белый цвет обшивки инструмента навевал такое сравнение. Мы очень успокоены высказываниями добрых людей: «Не волнуйтесь, у них всегда что-то ломается». Видно, что работа требует огромного напряжения сил, ребята подустали. Держатся только на железном характере и на отработанных до автоматизма навыках. Блок управления уже установлен и подключен к системам МКС в ав-



«СПИН-Х1-МВН», установленный на УРМ-Д на внешней поверхности РС МКС



Скорость счета детектора «МВН» при прохождении поля зрения через область Солнца.
 На середине засветки детектора солнечное излучение перекрывалось обтюратором на полминуты.
 Красным показано движение Солнца относительно поля зрения «МВН», черным – темп счета

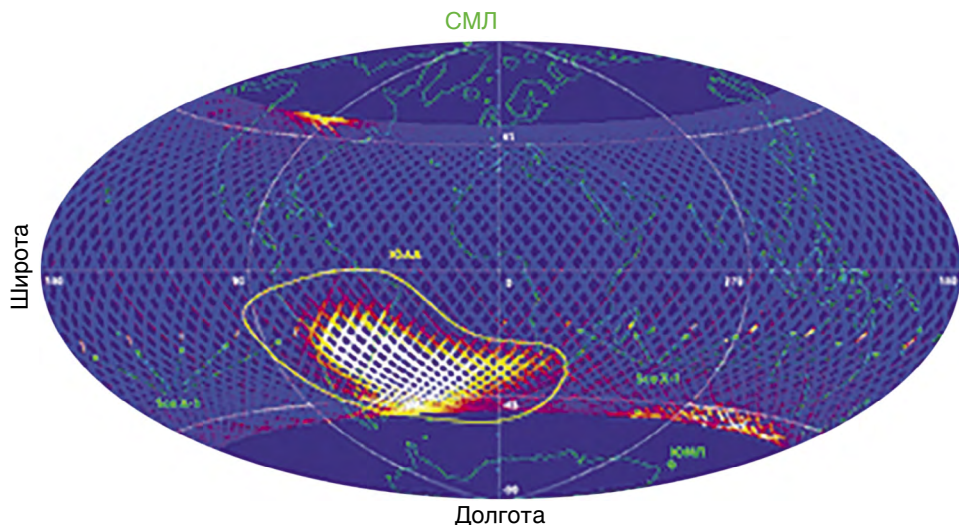


Скорость счета одного из детекторов эксперимента «МВН» в течение суток наблюдений (вверху). Детальные кривые блеска со всех четырех детекторов момента прохождения через поле зрения источника Sco X-1 (внизу слева) и во время гигантского всплеска вблизи южного магнитного полюса (внизу справа). Внизу в середине показан спектр, регистрируемый одним из пикселей детектора от калибровочного источника

густе, так что сегодняшняя операция должна дать старт этапу наблюдений «МВН». Наконец, космонавты добрались с монитором до нужного адаптера. Механическая стыковка монитора с адаптером. С небольшой заминкой, но есть. Электрическая стыковка. Сообщение из ЦУП. «Контроль электрической стыковки прошел. Потребление

есть». Выдохнули. «МВН» установлен и функционирует.

Двадцать седьмое декабря 2024 года. Тесты работоспособности основных систем «МВН» позади. Вроде все работает. Неприятный сюрприз: тепловые потоки имеют более высокую амплитуду по сравнению с использованными в расчетах. Соответственно, происхо-



На картах цветом показана интенсивность сигнала, регистрируемого в эксперименте «МВН», 1–12 февраля 2025 г.

дят колебания температуры монитора с нерасчетной амплитудой. Это неприятно, но не катастрофично, просто в некоторые периоды детекторы придется отключать, они на это не рассчитаны. В остальном все в порядке. Можно начинать первую фазу наблюдений: фазу калибровок. Полноценно включаем один из детекторов путем подачи на него высокого напряжения.

И вот тут как раз следует фраза, с которой начинается статья: «Что это! Этого здесь быть не должно!» Фраза относится к неожиданно очень яркому рентгеновскому источнику, который видит монитор, но его там не должно быть. Хорошо видно, что излучение от этого источника периодически перекрывается вращающимся обтюратором.

Поэтому ясно, что это именно внешний источник, а не какой-нибудь инструментальный эффект. Практически сразу же следует озарение – это Солнце! Но Солнце в жестком рентгене мы не должны были увидеть. Не те параметры аппаратуры. Однако видим. Аппаратура

чуть лучше, чем планировалось. А Солнце значительно активнее по сравнению со средним уровнем. То, что видим Солнце – сюрприз приятный. Значит, будет что-то интересное в течение трех лет, пока накапливается статистика по основной задаче.

Тут же решаем проводить наблюдение Солнца на постоянной основе. Видим его два раза в месяц. Это как должно было повезти, чтобы первое включение детектора, которое длилось несколько минут, совпало с одним из этих разов. Да и знаковость момента вдохновляет: первое, что увидели, – это Солнце.

В ходе дальнейших наблюдений видим то, что и должны.

Скорость счета зафиксированных детекторами событий возрастает, когда в поле зрения появляется ярчайший рентгеновский источник Скорпион X-1 (Sco X-1). Такой же эффект при прохождении Южно-атлантической аномалии (ЮАА). Соответственно, и при приближении к магнитным полюсам Земли (ЮМП, СМП) скорость счета стремится

вверх. Правда, около ЮМП уж чересчур вверх, регистрируем очень яркий всплеск скорости счета (Big event), которая еще и периодически перекрывается обтюратором. Требуется осмысления. Но в общем все работает.

«МВН»: ВСЕ ЕЩЕ ВПЕРЕДИ

Что же можно сообщить в качестве первых промежуточных итогов? На МКС установлен самый сложный за всю историю станции российский астрофизический прибор. Аппаратура работает. Общая картина работы сложнее предварительных прогнозов (а когда она была проще?). Причиной этого является не качество аппаратуры, а недостаточный учет некоторых особенностей условий ее эксплуатации на МКС (Сербинов, 2018).

Получены первые результаты наблюдений. Из неожиданного: «МВН» видит Солнце и даже измеряет с высокой точностью его спектр до энергий около 1 кэВ! Исходя из того, что наблюдения Солнца в рентгеновском излучении достаточно редки, приняли решение проводить постоянные наблюдения при прохождении Солнца через поле зрения. Видим еще много интересного, некоторые результаты, видимо, требуют нетривиальных объяснений. Продолжаем дальше и надеемся на решение основной задачи эксперимента: уточнение значения поверхностной яркости КРФ.

Команда «МВН»: М. Павлинский, М. Ревнивец, В. Акимов, М. Бунтов, Д. Гамков, А. Глушенко, Е. Гурова, О. Козлов, В. Коношенко, А. Кривченко, М. Кузнецова, В. Левин, В. Липилин, А. Лутовинов, А. Марков, С. Мольков, А. Новиков, А. Присташ, А. Ротин, Н. Семена, Д. Сербинов, Д. Сибирцев, Д. Сурин, В. Тамбов, А. Штыковский, С. Ямпольский.

Существенную помощь в освоении необходимых для «МВН» технологий оказали Алексей Александрович Шлёнский и Виктор Николаевич Меринов из ОАО «ГИРЕДЕМЕТ», а также Франсуа Лебран (François Lebran) и Оливье Лимузин (Olivier Limousin) из департамента астрофизики французской комиссии по атомной и альтернативной энергетике (CEA-Saclay, DSM/DAPNIA/Service d'Astrophysique).

Литература

1. Pavlinsky M. et al. The ART-XC telescope on board the SRG observatory // *Astronomy and Astrophysics*. V. 650. A42. 2021.
2. Лутовинов А.А. Телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» // *Земля и Вселенная*. № 4. 2022.
3. Левин В.В. и др. Детекторы и интегральные схемы орбитальных телескопов // *Успехи физических наук*. Т. 194. С. 404–415. 2024.
4. Ревнивец М.Г. Измерения космического рентгеновского фона Вселенной и эксперимент «МВН» // *Письма в Астрономический Журнал: астрономия и космическая астрофизика*. Т. 40. № 11. С. 735–760. 2014.
5. Gilli R. The cosmic X-ray background: abundance and evolution of hidden black holes // *Memorie della Societa Astronomica Italiana*. V. 84. P. 647. 2013.
6. Serbinov D.V. et al. MVN experiment – All Sky Monitor for measuring cosmic X-ray background of the Universe onboard the ISS, *Experimental Astronomy*. V. 51. P. 493–514. 2021.
7. Revnivtsev M. et al. Discrete sources as the origin of the Galactic X-ray ridge emission // *Nature*. V. 458. P. 1142–1144. 2009.
8. Krivonos R. et al. Hard X-ray emission from the Galactic ridge // *Astronomy and Astrophysics*. V. 463. No. 3. P. 957–967. 2007.
9. Сербинов Д.В. и др. «Монитор Всего Неба для высокоточного измерения космического рентгеновского фона с борта МКС» // *Письма в Астрономический журнал*. Т. 48. № 4. С. 1–22. 2022.
10. Сербинов Д. В. и др. // *Возможности и ограничения орбитальных космических станций для проведения астрофизических экспериментов* // *Инженерная физика*. № 4. С. 33–48. 2018.