

Телескоп eROSITA
(МРЕ, Германия)

Платформа «Навигатор»
(НПО им. Лавочкина, Россия)



Телескоп ART-XC
(ИКИ РАН, Россия)

ЖЕСТКОЕ НЕБО «СПЕКТРА-РГ»

УНИКАЛЬНАЯ СПУТНИКОВАЯ ПЛАТФОРМА, ВООРУЖЕННАЯ
ПАРЬЮ ТЕЛЕСКОПОВ, СОСТАВЛЯЕТ САМУЮ ДЕТАЛЬНУЮ
КАРТУ ВСЕЛЕННОЙ В РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧАХ.

Если бы мы могли увидеть небо в рентгеновском диапазоне, зрелище не слишком сильно напоминало бы привычные космические просторы. В этих лучах Луна почти невидима, а самыми яркими объектами оказываются Солнце и... далекий Скорпион X-1 – двойная система, расположенная в 9000 световых лет от Земли. Энергия рентгеновских фотонов значительно выше, чем у инфракрасных или оптических, и обычные звезды довольно слабо излучают в этом жестком диапазоне. Поэтому «рентгеновское зрение» различило бы намного меньше светил, зато позволило бы заметить немало других

интересных объектов. Рентгеновские и гамма-лучи испускаются остатками сверхновых – газовыми облаками, разогретыми ударной волной разорвавшейся звезды. В рентгеновском спектре светятся двойные системы, которые включают обычную звезду и ее плотную соседку. Так, нейтронная звезда в составе Скорпиона X-1 активно перетягивает плазму от своей компаньонки, разгоняя и раскаляя до миллионов градусов, при которых она начинает излучать даже в жестком диапазоне волн. За счет падения (аккреции) вещества ярко светятся в рентгене и окрестности сверхмассивных черных дыр.

«Может случиться так, что нейтронная звезда потеряет соседку, оставшись в одиночестве, – рассказывает заместитель директора Института космических исследований (ИКИ) РАН Александр Лутовин. – При этом она приобретает очень большую скорость вращения и превращается в пульсар. Из его полюсов выбрасываются релятивистские джеты – узкие потоки частиц, разогнанных до околосветовых скоростей, прекрасно видимые в рентгеновском диапазоне. Так устроена знаменитая Крабовидная туманность: в ее центре – мощный пульсар, который нагревает окружающее облако газа и пыли». Впрочем, даже если бы мы действительно заполучили рентгеновское зрение, то всего этого не увидели. Атмосфера Земли прозрачна для оптических лучей, для части инфракрасного и радиодиапазона, но не для фотонов более жесткой части спектра. «Эти волны не достигают поверхности планеты, что является большой удачей для жизни, но и серьезной проблемой для наших наблюдений», – добавляет Александр. Поэтому рентгеновская астрономия началась лишь с появлением ракетной космической техники, и любой телескоп, смотрящий на небо в этих жестких лучах, обязательно космический.

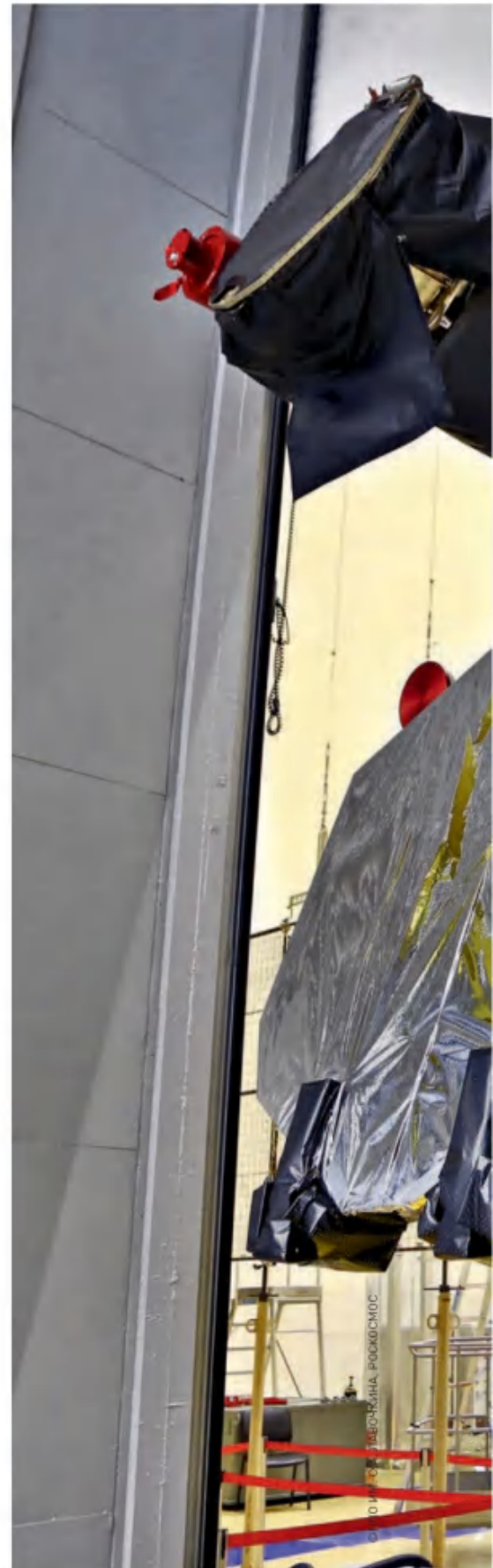
ЛОВЛЯ РЕНТГЕНА

Первые такие аппараты мало отличались от обычных счетчиков Гейгера. На орбиту отправляли герметичную газовую камеру и устройство для автоматического подсчета высокоэнергетических частиц, пролетающих через нее. Чтобы хотя бы примерно оценить направление, с которого приходит

«СПЕКТР-РГ»
СТАРТОВАЛ
13 ИЮЛЯ 2019 ГОДА.
ЧЕРЕЗ 10 ДНЕЙ
ПОЛЕТА СОСТОЯЛОСЬ
ОТКРЫТИЕ ЗАЩИТНЫХ
КРЫШЕК ОБОИХ
ТЕЛЕСКОПОВ,
А ЧЕРЕЗ 100 ДНЕЙ
(21 ОКТЯБРЯ) ОН
ПРИБЫЛ К ЦЕЛИ,
В ТОЧКУ L2.



Обсерватория будет сканировать звездное небо четыре года, а затем еще два с половиной года проработает в режиме точечного наблюдения.

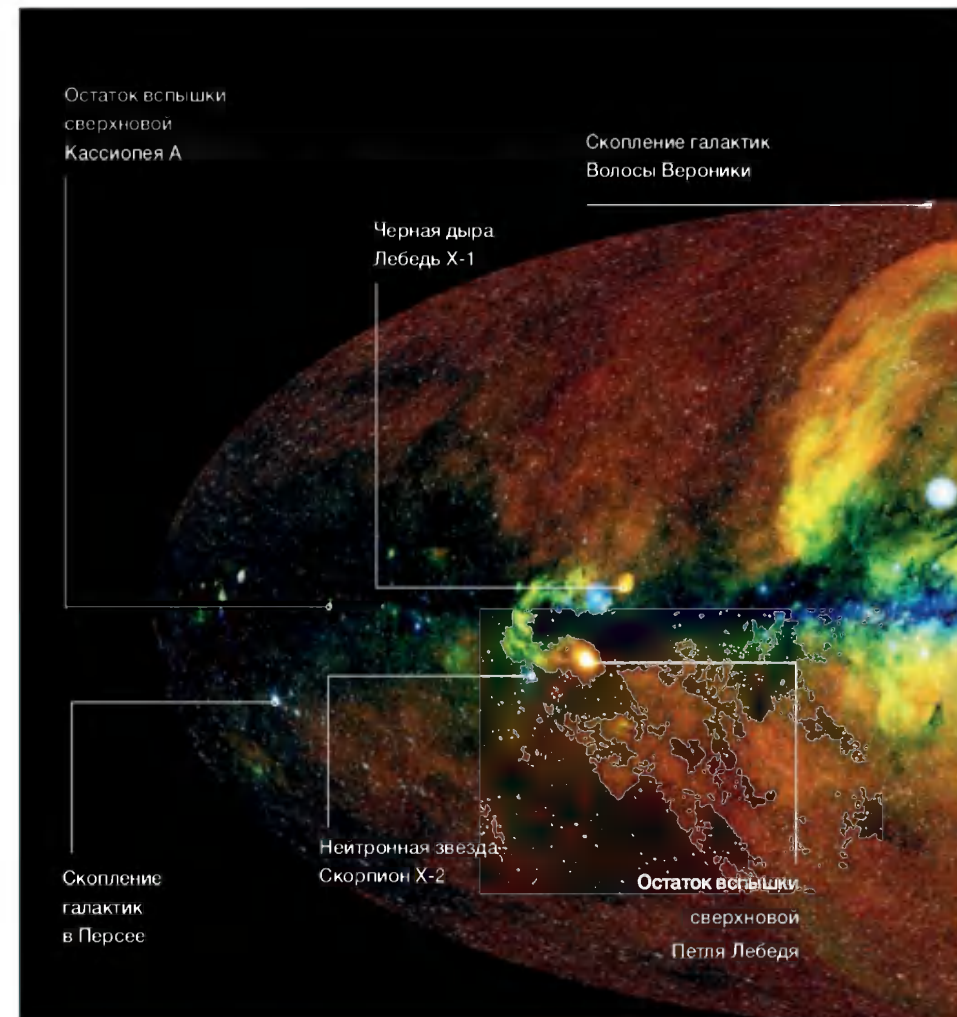




сигнал, к системе достаточно добавить коллиматор – в простейшем случае просто экранировать ее со всех сторон, оставив узкую «форточку» для прилетающих фотонов. Вращая всю установку, можно сканировать пространство, фиксируя, сколько излучения приходит и откуда. Конечно, разрешение таких систем не слишком высоко, но они бывают весьма полезны – например, американская обсерватория RXTE, которая работала на орбите вплоть до 2012 года, была устроена именно так.

Более совершенные телескопы достигают большого углового разрешения, точно локализуя источник каждого сигнала. Для этого необходимо манипулировать проходящими лучами – преломлять и отражать их, как это делают обычные оптические телескопы с помощью линз и зеркал. Однако рентгеновские фотоны несут слишком много энергии, и, если поставить перед ними обычное зеркало, они просто войдут в него на некоторую глубину, пока не будут поглощены. Отражаться лучи смогут лишь в том случае, если будут падать на поверхность под очень острым углом, словно плоский камень, скачущий по воде, оставляя блинчики.

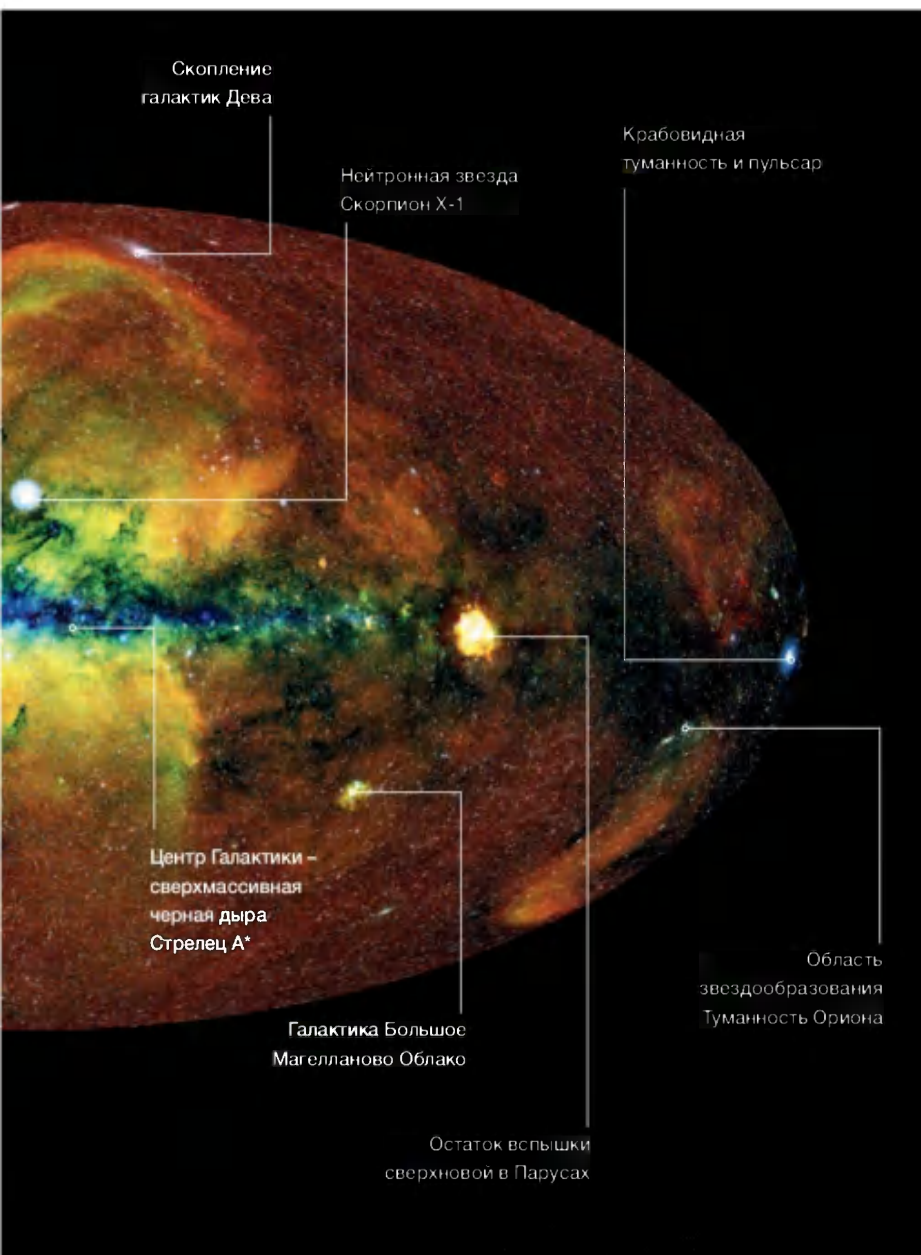
Нужные расчеты были проведены еще десятилетия назад. Астрономы нашли разные формы поверхностей, подходящих для работы с рентгеновским излучением. Например, его можно направлять на комбинацию гиперболического и параболического зеркал: отразившись от них несколько раз, лучи сфокусируются, позволяя добиться лучшего разрешения. «Все это



НЕБО «ГЛАЗАМИ» РЕНТГЕНОВСКИХ ТЕЛЕСКОПОВ ОДНОВРЕМЕННО ПОХОЖЕ И НЕПОХОЖЕ НА ПРИВЫЧНОЕ НАМ. НЕКОТОРЫЕ ДАЛЕКИЕ ИСТОЧНИКИ ОКАЗЫВАЮТСЯ НЕОЖИДАННО ЯРКИМИ, А ИЗ ПЛОСКОСТИ МЛЕЧНОГО ПУТИ В СТОРОНЫ РАЗДУВАЮТСЯ ПУЗЫРИ ФЕРМИ.

требует идеальной формы и гладкости, точность полировки должна достигать нескольких ангстремов, что сравнимо с размерами отдельных атомов, – говорит Александр Лутовинов. – Для увеличения эффективной площади такие концентрические поверхности вкладываются одна в другую, образуя трубку – зеркало рентгеновского телескопа, которое фокусирует излучение в одной точке».

В 2021 году обсерватория «Спектр-РГ» была удостоена премии Марселя Гроссмана «за создание лучшей в мире карты всего неба в рентгеновских лучах».



ВЫХОД «СПЕКТРА-РГ»

Зеркала косо́го падения использует большинство работающих сегодня рентгеновских телескопов, включая два самых известных – американский Chandra и европейский XMM-Newton. В Chandra применяются четыре вложенные зеркальные оболочки, сделанные из толстого крем-

ния со сверкающим покрытием из иридия. «Фактически они стеклянные, поэтому вся конструкция весит несколько тонн, – добавляет Александр. – Зато такие толстые оболочки проще полировать, и отражающие поверхности у Chandra получились действительно выдающиеся. Они позволяют достигать разрешения 0,5 угловой секунды, на что

способны далеко не все оптические системы».

Оборотная сторона сверхточности – крайне узкое поле зрения. С таким телескопом нельзя окинуть взглядом большое пространство, чтобы сориентироваться или просто заметить нечто любопытное. Аналогично устроен и европейский XMM-Newton: с его помощью удобно глубоко изучать отдельные объекты, но не смотреть по сторонам. Для хорошего обзора требуются широкопольные телескопы, и именно этой работой уже более двух лет занята обсерватория «Спектр-РГ». На аппарате установлены сразу два телескопа: немецкий eROSITA с разрешением 15 угловых секунд и российский ART-XC с разрешением чуть лучше 50 угловых секунд. Их большое поле зрения – примерно градус – позволяет проводить рентгеновский обзор всего неба. «На ART-XC используется семь отдельных модулей, у каждого из которых есть свой полупроводниковый детектор и зеркальная система. Она состоит из 28 вложенных друг в друга отражающих оболочек толщиной всего 300 мкм – почти фольга, – поясняет Александр Лутовинов, научный руководитель этого телескопа. – У eROSITA модулей тоже семь, по 54 зеркальные оболочки у каждого. Кроме того, трубки eROSITA короче и шире наших, что позволяет устройствам работать с фотонами разных диапазонов». eROSITA видит более длинноволновую, мягкую часть рентгеновского спектра; ART-XC рассчитан на более жесткие и высокоэнергетические фотоны, вплоть до гамма-лучей.

ОСМАТРИВАЯ НЕБО

Отправившись в полет летом 2019 года, «Спектр-РГ» добрался до точки либрации L2 Солнце – Земля и с тех пор описывает круги вокруг нее. Здесь, в 1,5 млн км от нас, аппарату требуется не слишком много энергии для удержания орбиты и создания комфортных тепловых условий для научных инструментов. Плавно вращаясь вокруг своей оси, зонд делает полный оборот за четыре часа, сканируя обоими своими телескопами узкую полосу неба на все 360 градусов. За счет годового движения L2 вокруг Солнца эта полоса медленно смещается, и в следующий оборот «Спектр-РГ» изучает уже соседний участок, за 180 дней осматривая все небо целиком. В течение двух лет работы аппарат провел уже четыре полных обзора из запланированных восьми. Это позволяет набирать статистику, чтобы увидеть больше слабых и далеких источников. «Кроме того, на небе имеется множество переменных объектов: одни вспыхивают, другие гаснут, третьи появляются совсем ненадолго, – продолжает Александр. – Это видно и в оптическом диапазоне, а уж в рентгеновском, который часто связан с короткоживущими взрывными процессами, тем более. Иногда мы замечаем процессы, которые развиваются почти мгновенно – в течение десятков

секунд. Возможно, так проявляют себя гамма-всплески или вспышки нейтронных звезд».

Пока, даже заметив такие любопытные объекты, «Спектр-РГ» не останавливает свое вращение, терпеливо продолжая сканирование неба. Его главная задача состоит в построении самой подробной рентгеновской карты Вселенной. Телескопы работают независимо, но направлены в одну и ту же точку, регистрируя фотоны разных диапазонов и дополняя друг друга. В мягком диапазоне, который наблюдает eROSITA, видно гораздо больше объектов. В жестком рентгене ART-XC источников намного меньше, но тем интересней каждый из них. «Эти источники связаны с самыми высокоэнергетическими про-

цессами, многие из которых иначе были бы просто невидимы, – поясняет Александр Лутовинов. – Например, сверхмассивную черную дыру могут закрывать плотные скопления газа и пыли, которые поглощают большую часть излучения, включая даже мягкий рентген. Но для самого жесткого излучения такие облака почти прозрачны, что позволяет ART-XC рассмотреть эти объекты». Планируется, что в будущем «Спектр-РГ» займется и этими наблюдениями, но сначала он должен завершить работу над картой. И чем подробнее она становится, тем больше таких любопытных объектов для дополнительных исследований находят ученые.



Ракета-носитель «Протон-М» с разгонным блоком ДМ-03 стартовала с Байконура, отправив «Спектр-РГ» в путь на 1,5 млн км от Земли.



Александр Лутовинов, доктор физико-математических наук, заместитель директора ИКИ РАН, научный руководитель телескопа ART-XC им. Михаила Павлинского.

ЗА ПРЕДЕЛАМИ КАРТЫ

«Обсерватория может вращаться, сканируя небо, а может точно нацелиться на нужную точку и замереть, – продолжает Александр. – Возможен и особый режим работы, в котором аппарат осторожно поворачивается, перемещая поле зрения телескопов змейкой, чтобы плавно и равномерно отсматривать отдельные участки неба. Все это – благодаря замечательной платформе “Навигатор” от НПО им. Лавочкина. Потрясающе, что наша промышленность сумела создать этот уникальный аппарат. И точность наведения, и многие другие необходимые характеристики оказались даже лучше, чем мы ожидали».

По итогам первых лет работы ART-XC российские ученые подготовили каталог, включающий более 900 источников, которые излучают в самом жестком

рентгеновском диапазоне, – примерно столько же аппараты прошлых поколений накапливали за десятилетия наблюдений. Астрономы ожидают, что в будущей полной рентгеновской карте неба окажется порядка 3500–4500 таких объектов. А тем временем в полет готовятся новые космические обсерватории на платформе «Навигатор»: серия аппаратов «Спектр» должна охватить широкий диапазон – от рентгена и гамма-лучей до длинных радиоволн.

Уже был запущен и успешно – более чем вдвое дольше запланированного срока – отработал радиоволновой «Спектр-Р» («Радиоастрон»). На 2025 год запланирован запуск ультрафиолетового «Спектра-УФ», на 2030-е намечен «Миллиметр» для субмиллиметрового диапазона. А пока «Спектр-РГ» продолжает нести свою вахту, кропотливо картографируя незнакомое нам небо.

ПМ

ПОЛОЖЕНИЕ В ТОЧКЕ L2 НЕСТАБИЛЬНО, И ОБСЕРВАТОРИЯ ДВИЖЕТСЯ ВОКРУГ НЕЕ ПО ГАЛО-ОРБИТЕ, СОВЕРШАЯ ПОЛНЫЙ ОБОРОТ ПРИМЕРНО ЗА ПОЛГОДА.

