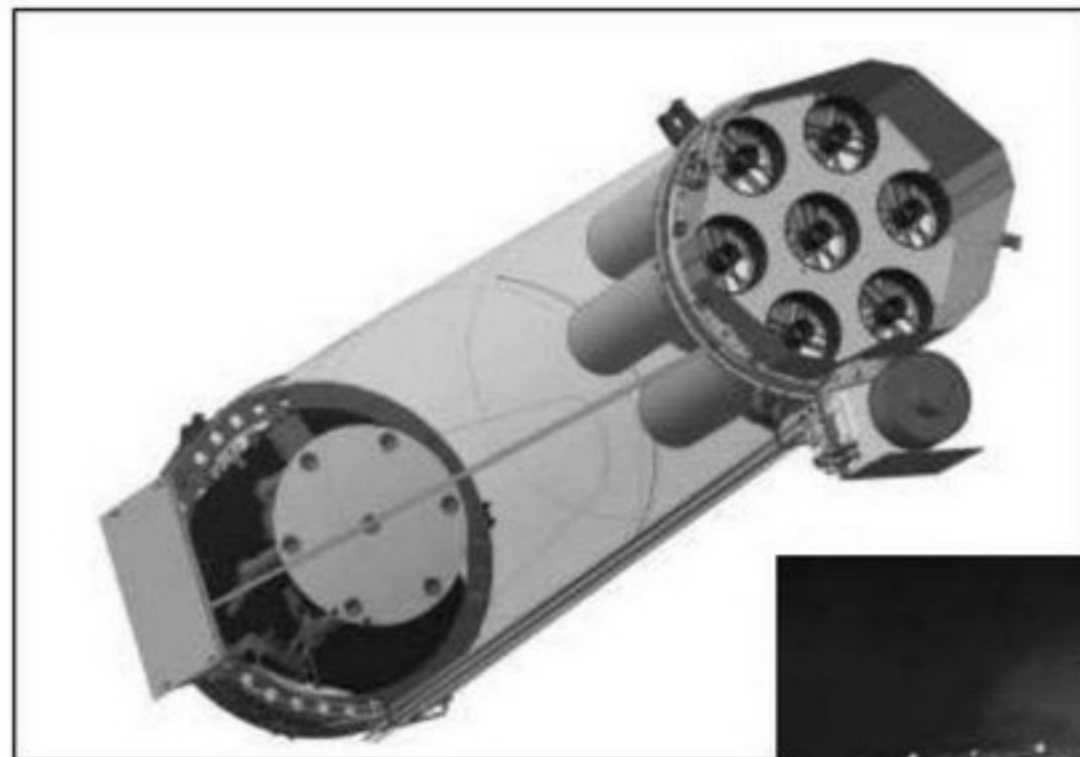


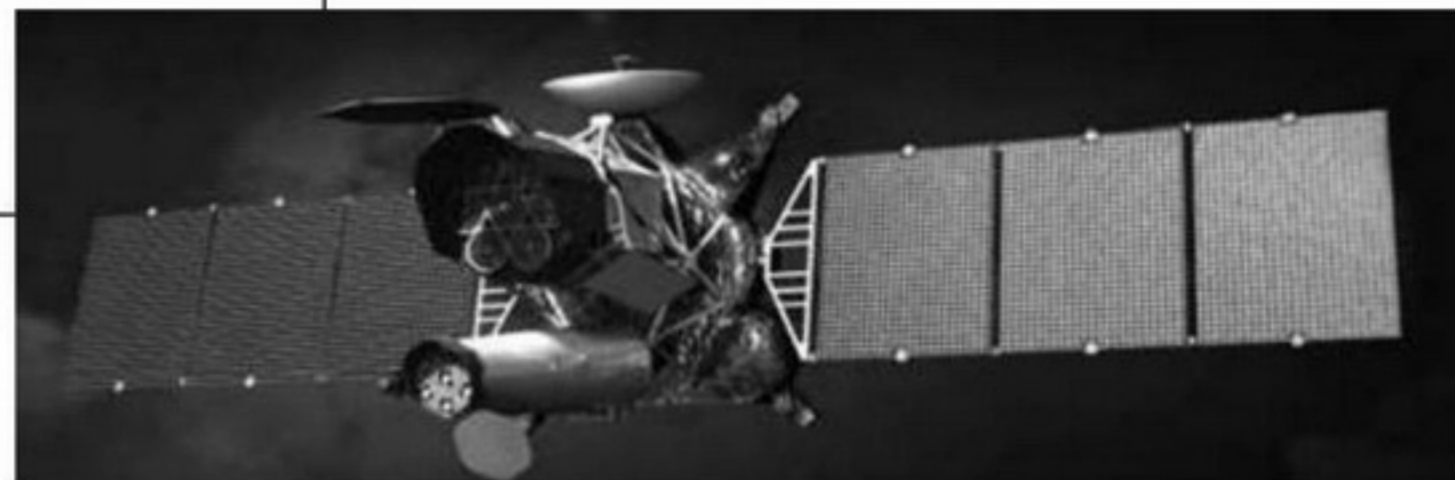
ГЛАВНАЯ ТЕМА

Михаил Ревнивцев



Рентгеновский телескоп
ART-XC (Россия)

Рентгеновский телескоп
EROSITA
(Германия)



Два в одной, или Обсерватория «Спектр-РГ»



Михаил
Ревнивцев

10 апреля 2014 года в рамках лектория «Знание — сила» о проекте «Спектр-Рентген-Гамма» рассказал Михаил Геннадьевич Ревнивцев, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института космических исследований РАН. К сожалению, через два с половиной года, в ноябре 2016-го, тяжелая болезнь унесла его жизнь.

Ревнивцев родился в 1974 году в Тольятти. В 1991 году поступил в Московский физико-технический (МФТИ) институт на кафедру космической физики. С 1995 года начал работать в ИКИ РАН. В 1997 году с отличием закончил МФТИ и поступил в аспирантуру ИКИ РАН, в 1999 году защитил кандидатскую диссертацию, в 2006 году — докторскую. В 2016 году ему было присвоено звание профессора Российской академии наук.

М. Г. Ревнивцев — автор ряда ярких научных открытий, среди которых решение многолетней загадки происхождения рентгеновского фона нашей Галактики. Построив уникальную рентгеновскую карту Галактики по данным космической обсерватории RXTE, он доказал, что этот фон складывается из излучения многочисленных аккрецирующих белых карликов

и звезд с активными коронами. За это и другие открытия ученый был награжден в 2006 году медалью имени Я. Б. Зельдовича Международного комитета по исследованию космического пространства, а в 2008 году стал одним из первых лауреатов премии Президента Российской Федерации в области науки и инноваций для молодых ученых.

Обсерваторию «Спектр-РГ» первоначально планировалось запустить в 2014 году. Но запуск неоднократно переносился. Новый срок — апрель 2019 года.

Поскольку актуальность лекции Михаила Геннадьевича сохранилась, мы даем ее в сокращении с некоторыми уточнениями, внесенными сотрудниками ИКИ РАН.

Почему в космосе

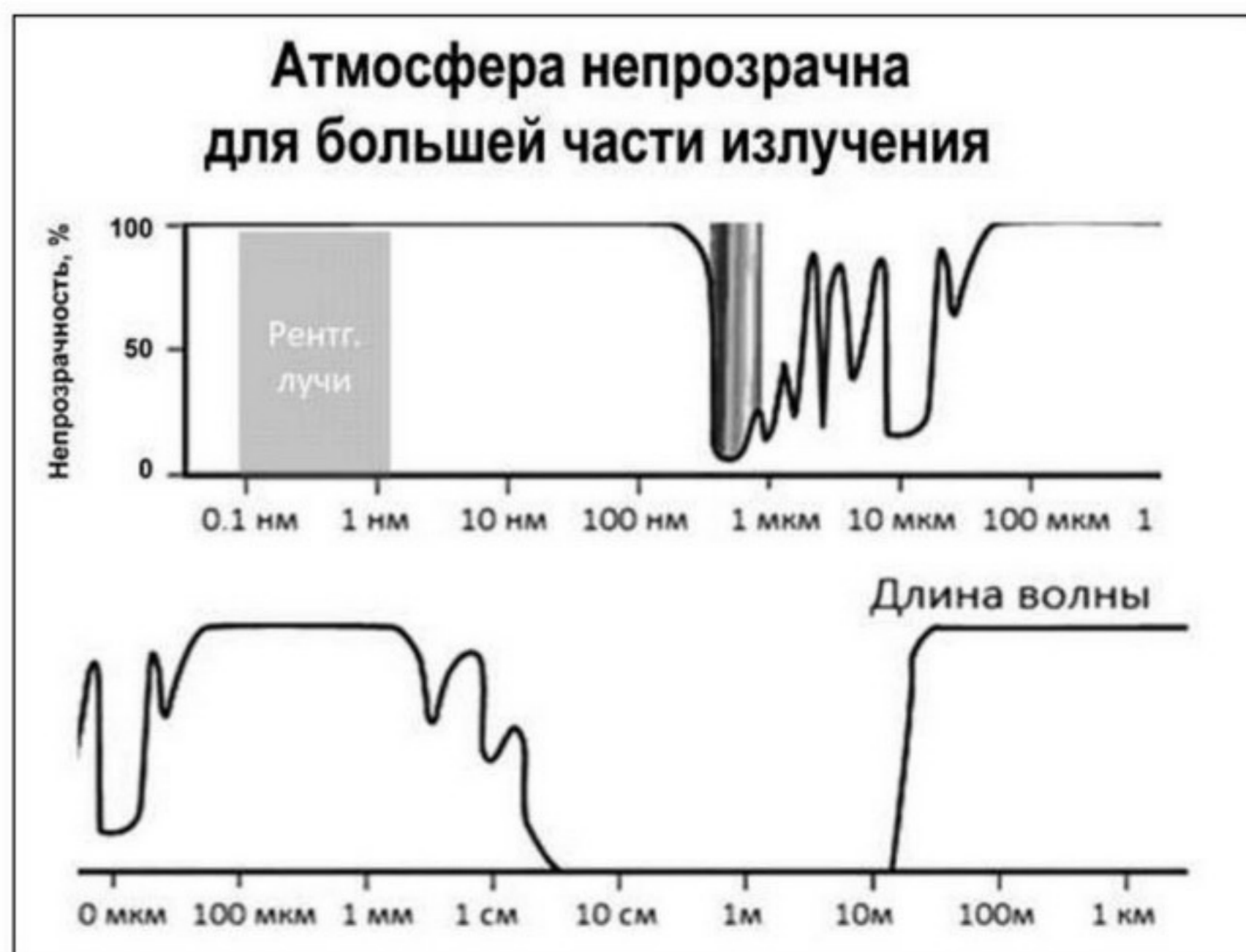
Обсерватория «Спектр-РГ» — ее полное имя «Спектр-Рентген-Гамма» — это российско-немецкая космическая обсерватория, предназначенная для изучения Вселенной в рентгеновском диапазоне энергий (0,2—30 килоэлектронвольт, длины волн 6—0,04 нанометров). Обсерватория будет размещена в точке Лагранжа L_2 системы Солнце-Земля. При разработке любой космической обсерватории первый вопрос — что она будет наблюдать, какие частицы или, если это электромагнитное излучение — какие частоты, какие длины волн. А также — с какой чувствительностью и с каким разрешением. Отсюда следует

все остальное, в частности — нужно ли ее запускать в космос и почему. Вот с этого и начнем.

Кстати, точки Лагранжа — это в данном случае точки, где аппарат может вращаться вокруг Солнца вместе с Землей, почти не расходуя горючего; всего их пять, L_2 — одна из них, в 1,5 миллионах километров за Землей (то есть дальше от Солнца). Планируется, что аппарат не будет висеть в точке Лагранжа, а станет вращаться вокруг нее на расстоянии 0,4 миллиона километров.

Обсерватория состоит из двух телескопов. Один телескоп («eРОЗИТА») изготовлен в Германии, другой («АРТ-ХС») — частично в России, частично в США.

Вот как излучение разных частот проникает через атмосферу



Вот как это выглядит.
Рентгеновское излучение
не показано, потому что оно
невидимо.



Вселенная — это, с точки зрения физики, огромный лабораторный корпус, в котором есть много разных лабораторий с разными условиями. Во многих из них реализованы условия, которые невозможно получить в лабораториях на Земле — температуры в миллиарды градусов, давления, магнитные, гравитационные поля, недостижимые в земных лабораториях. И мы в какой-то мере можем наблюдать, что происходит при таких условиях. Но для этого мы должны уловить пришедшие отсюда сигналы, а они не всегда могут пройти через атмосферу Земли.

Обычный видимый свет проходит — звезды разного цвета мы видим, инфракрасное излучение проходит очень плохо, ультрафиолет, рентгеновское излучение и гамма-лучи не проходят. Это хорошо для жизни на Земле и плохо для науки — в этих диапазонах излучает очень много космических объектов разных классов. Первые попытки наблюдения рентгеновского излучения, поступающего из космоса, начали предприниматься в конце 1950-х годов, и в 1962 году группе, которую возглавлял Риккардо Джаккони (лауреат Нобелевской премии 2002 года), это удалось. С помощью датчиков, установленных на ракете, они открыли рентгеновское излучение от нейтронной звезды

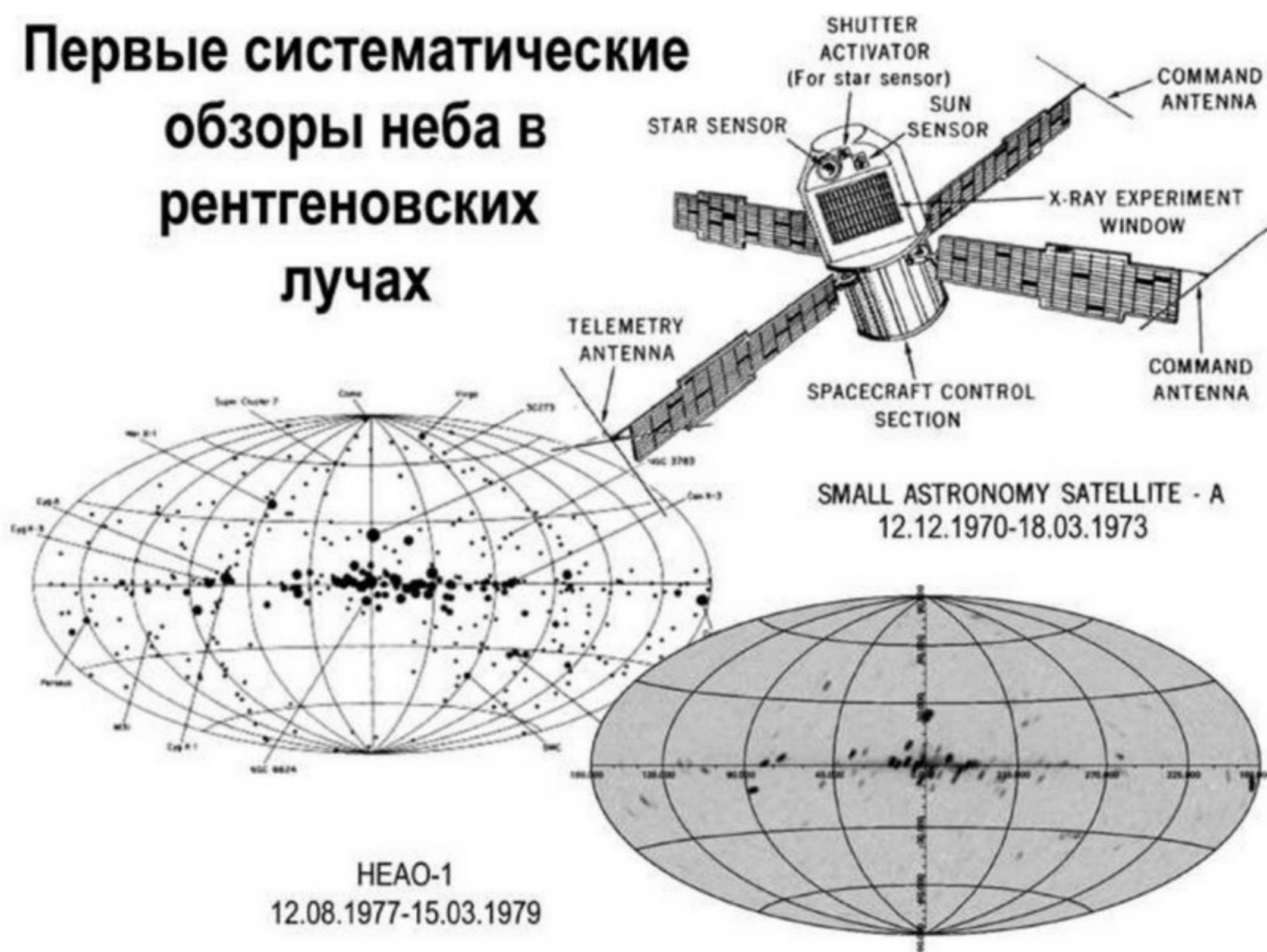
Скорпион-Х1. Выглядело это так: ракета взлетает, датчики сканируют небо и видят, что из определенного направления идет поток рентгеновских фотонов, совершенно непонятно откуда, в десятки тысяч раз более мощный, чем Солнце.

Откуда это излучение

Сегодня мы представляем ситуацию там, где рождается этот поток, примерно так. Нейтронная звезда или черная дыра находится в двойной системе с обычной звездой, и перетягивает на себя ее вещество. Из-за наличия момента вращения вещество не просто падает, а формирует аккреционный диск. Разные его слои вращаются с разной угловой скоростью, обмениваются моментом, часть гравитационной энергии при этом превращается в тепло, диск нагревается до температур в сотни миллионов градусов и, согласно закону Вина (который еще недавно был в школьной программе), излучает в рентгеновском диапазоне.

При запуске космического телескопа первая задача — построить обзор неба, желательно, большей его части. Это необходимо для поиска систем, которые нужны вам для изучения, которые мы хотим использовать в качестве «лаборатории». Кроме то-

Первые систематические обзоры неба в рентгеновских лучах



го, это способ обойти проблему большого времени жизни звездных систем. Звезды живут миллионы, миллиарды лет. Если вы будете наблюдать за одной звездой, вы ничего не поймете. Для того, чтобы это преодолеть, вы просто наблюдаете много звезд, сотни, тысячи, может быть, миллионы, и, комбинируя информацию о звездах на различных этапах эволюции, вы можете понимать, как они живут и что с ними происходит. Определение эволюции одного объекта по наблюдению многих, но в разные моменты — это нетривиальная задача, у нее есть специальное название — популяционный синтез. Первые обзоры неба были сделаны в начале 1970-х годов с появлением первых специальных рентгеновских спутников.

Раз большое количество объектов лежит в плоскости нашей Галактики, то, значит, они находятся в нашей Галактике. Причем они далеко, — если бы они находились близко, они были бы на всем небе. Раз они далеко, значит, они излучают много, но излу-

Первые обзоры неба в рентгене. Показана развертка всей небесной сферы, галактическая плоскость горизонтально в середине, центр Галактики в центре картинке.

чение распределяется в пространстве и плотность мощности падает с расстоянием квадратично. Самые слабые источники, которые мы можем наблюдать, дают нам за неделю наблюдений один фотон.

Проблема с рентгеновским излучением состоит в том, что его почти невозможно фокусировать линзами — это удалось сделать совсем недавно и совершенно не в тех масштабах, которые нужны для космического телескопа, — поэтому сделать рентгеновский телескоп, подобный оптическому линзовому, нельзя. И рентгеновские лучи не отражаются от веществ при нормальном падении, поэтому сделать телескоп, подобный радиотелескопу или оптическому зеркальному, тоже нельзя. Рентгеновские лучи отражаются при падении под очень малыми углами, при «скользящем» падении. Поэтому

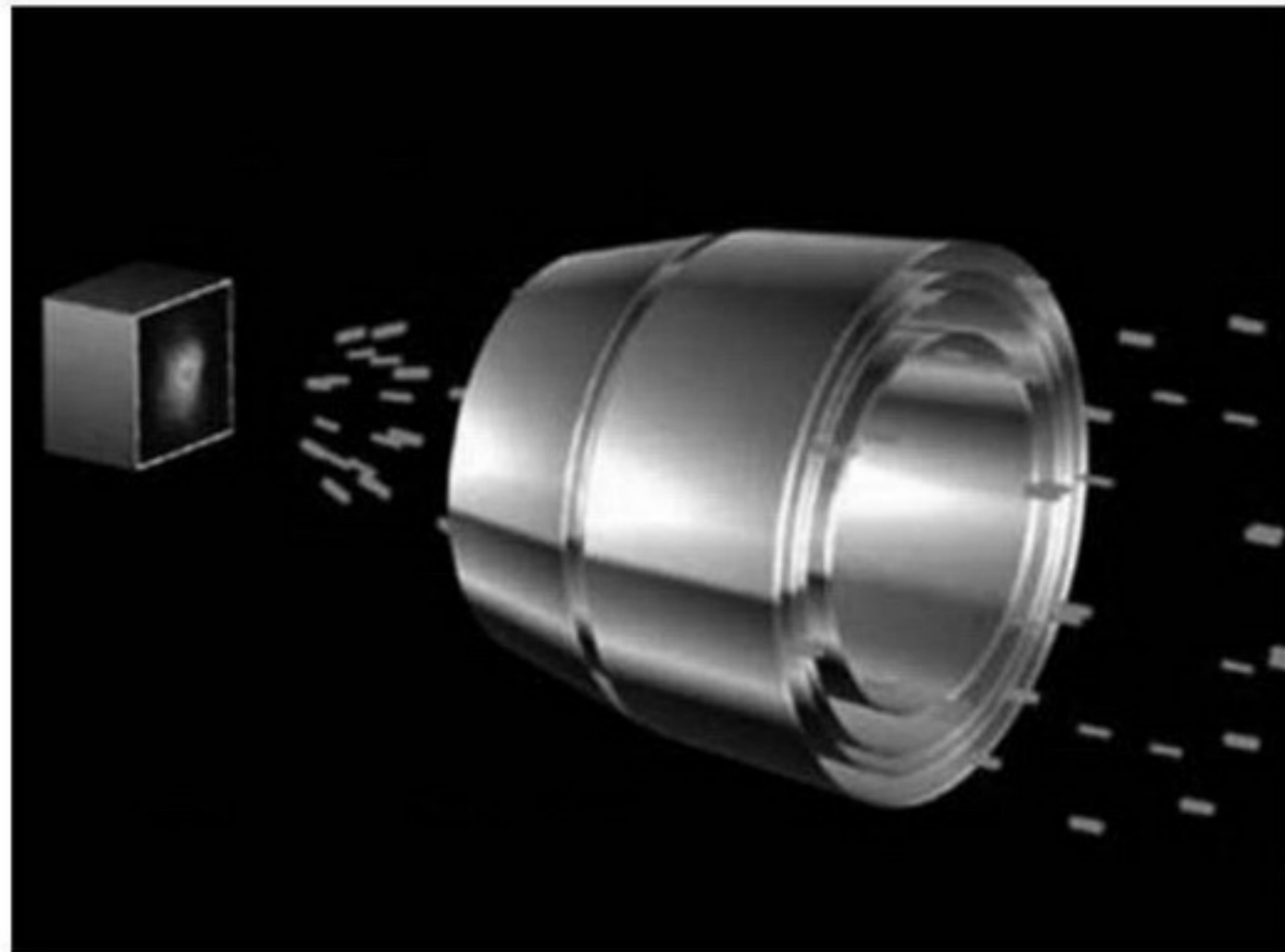
пришлось создавать принципиально новые фокусирующие системы, в которых рентгеновские кванты падают под малыми углами на поверхность, отражаются, падают на следующий ярус зеркал, опять отражаются и в итоге собираются на детектор.

Такой прибор имеет высокое угловое разрешение, поэтому если в середине 1970-х годов мы видели на всем небе несколько сотен рентгеновских источников, то в начале 1990-х — около ста тысяч источников, а со «Спектром-РГ» надеемся обнаружить около десяти миллионов рентгеновских источников. Что мы сможем узнать и понять нового о доставшейся нам Вселенной с помощью такого инструмента?

Что надеемся узнать

Начнем со структуры Вселенной. Это вообще принципиально важный вопрос для астрофизики, особенно на фоне новых открытий, когда оказалось, что Вселенная состоит на большую долю из темной материи и темной энергии. Источники информации в структуре Вселенной можно разделить на три больших класса.

Во-первых, это реликтовое радиоизлучение, наследие Большого взрыва. Оказалось, что с любого направления на небе есть некий фон в субмиллиметровом диапазоне, от которого никак не удавалось избавиться. Это — реликтовое излучение, дошедшее до нас с очень далеких расстояний. Спектр этого излучения, максимум которого лежит примерно на длине волны 2 миллиметра, и который характеризуется температурой 2,7 кельвина, одинаков с большой точностью при наблюдении по всем направлениям. Вот только малые отклонения от этой однородности несут много важной информации. Однако именно потому, что эти отклонения малы, наблюдать их сложно. Результатом работ по изучению реликтового фона является, в частности, понимание того, что Вселенная только на 4,6% состоит из относительно обычного вещества, а в основном из так назы-



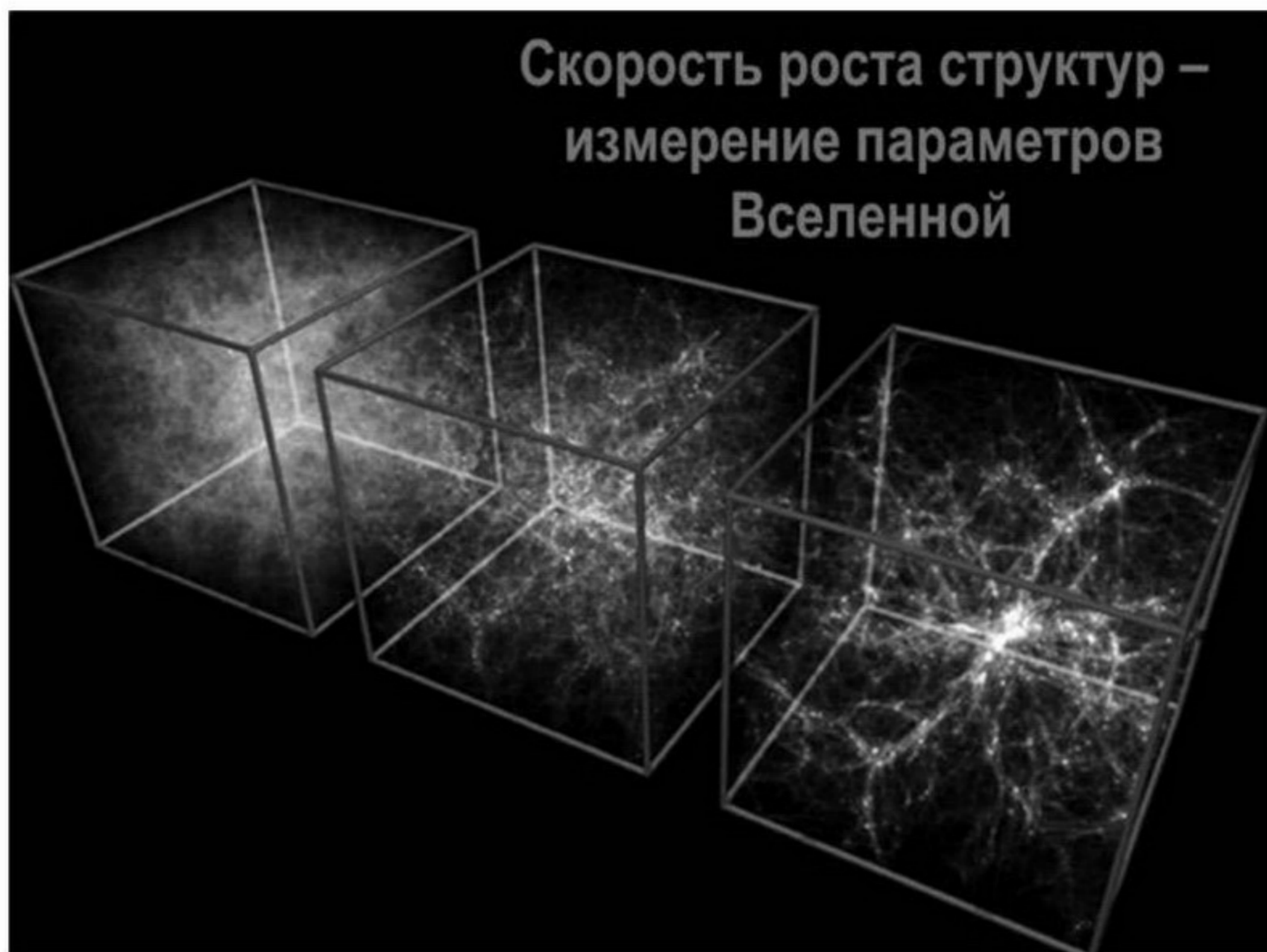
Отражающие поверхности и ход лучей — они собираются в фокусе

ваемых «темной материи» и «темной энергии», которые проявляются, в частности, в виде гравитации.

Второй большой класс объектов, которые могут быть использованы для определения структуры Вселенной, это сверхновые типа Ia. Это некий класс сверхновых, у которых вполне определенная светимость, поэтому их называют «стандартные свечи». Благодаря им мы можем определять расстояния до галактик, в которых они находятся.

Третий путь изучения структуры Вселенной — это изучение «скупивания», то есть того, как собирается вещество во Вселенной, какие сверхструктуры оно образует, то есть в какие структуры собираются галактики. Поскольку есть темная материя, которая притягивает, и темная энергия, которая отталкивает, то происходит образование структур, «скупивание». Галактики собираются в скопления и сверхскопления, «нити» и «стены», а между ними образуются пустоты, «войды». Компьютерное моделирование показывает, как это происходит.

Со временем у нас структуры растут, их становится всё больше, они становятся крупнее и оказывается, что скорость роста этих структур очень сильно зависит от параметров Вселенной. Поэтому по реально на-



Скорость роста структур — измерение параметров Вселенной

блюдаемой картине можно определить эти параметры. А для наблюдения скучивания как раз и нужен рентгеновский диапазон — потому что при падении друг на друга, как уже говорилось выше, межзвездный газ — которого в десять раз больше, чем вещества в звездах — разогревается, и начинает излучать в рентгеновском диапазоне. Вот это все и увидит обсерватория «Спектр-РГ».

Другая важная ее цель — исследование сверхмассивных черных дыр и их влияния на эволюцию галактик. Черные дыры, которые сами ничего не излучают, обнаруживаются по гравитации, по влиянию на близлежащее вещество. Например, по траекториям звезд в галактике мы можем установить, как распределена в ней масса по радиусу и, в частности, какая масса сосредоточена в ее центре. Но в галактике движутся не только звезды, но и межзвездный газ, с которым происходит обычная (для него) история — взаимодействие, нагрев, рентгеновское излучение.

Например, в галактике М87 ситуация такова — в одной стороне галактики вещество движется в одном направлении, в другой — в другом, и ес-

Вот так происходило образование сверхструктур во Вселенной — компьютерное моделирование, время идет, как обычно, слева направо.

ли мы применим закон Кеплера, который известен и школьникам, то окажется, что в ее центре сидит что-то массой в несколько миллиардов масс Солнца. То есть оказывается, что мы можем с уверенностью говорить о том, что в центрах галактик существуют сверхмассивные черные дыры. Вокруг такой дыры есть вещество, это вещество может взаимодействовать, тереться, нагреваться и начинать светить. Внешние части светят в инфракрасных лучах, ближние в оптических, потом в ультрафиолетовых, и центральные части светят уже в рентгеновских лучах.

Обычно в галактиках газ понемногу остывает, поглощается звездами, происходит мирная эволюция. Однако ситуация может развиваться и по-другому. Например, если в галактике происходит выброс вещества с высокими, релятивистскими скоростями, то оно сталкивается с межзвездной средой, опять же нагревается и начинает излучать в рентгеновском диапазоне. При этом оказалось, что

относительно небольшая черная дыра в центре галактики может влиять на большую галактику или даже скопление галактик. Эти эффекты поняты лишь частично — то есть еще хуже, чем другие эффекты во Вселенной. «Спектр-РГ» в ходе обзора всего неба обнаружит несколько миллионов таких объектов и даст огромную пищу для работы именно в этом направлении — взаимодействия галактик и сверхмассивных черных дыр в них. То есть, если мы в оптическом диапазоне, в инфракрасном, в котором сейчас обзоров очень много, видим, в основном, все-таки галактики, то в рентгеновском диапазоне мы видим — по последствиям их деятельности — именно черные дыры.

И вообще, если нужно обнаружить или исследовать какой-то объект с экстремальным давлением, плотностью, магнитным полем — вам дорога в рентгеновскую астрономию. А экстремальные объекты — это как раз те самые космические лаборатории, в которых созданы условия, невозможные на Земле. Вот, например, двойные звезды, в которых одна из них — нейтронная звезда. Втягивая в себя массу из второй, обычной звез-

ды, нейтронная создает аккреционный диск, который светит в рентгеновском диапазоне. И по этому излучению становится возможно изучать нейтронную звезду. А она — уникальная лаборатория. Мы еще до какой-то степени понимаем, как устроены ее поверхностные слои — там плотность вещества «обычная», то есть та, которая в ядрах атомов, а что происходит в глубоких слоях, мы понимаем хуже. Существуют теории, утверждающие, что может произойти переход в состояние кваркового вещества, которое будет совершенно по-другому себя вести. Но создать кварковое вещество в земных лабораториях пока что невозможно. Это как раз тот самый астрофизический объект, который даст нам информацию о фундаментальной физике, о физике поведения вещества при сверхъядерных плотностях. Такие объекты, в том числе, будут искаться при обзоре «Спектра-РГ».

Семейство космических аппаратов «Спектр»

Проект «Спектр-Рентген-Гамма» — один из четырех проектов серии «Спектр», которые осуществляются в России. Мы коротко расскажем о ситуации с каждым из этих проектов.

«Спектр Р»

То, что космический телескоп «Спектр Р» в январе текущего года перестал принимать команды с Земли, никак нельзя считать провалом. Запущенный 18 июля 2011 года, он был рассчитан на три года работы, а проработал более семи лет. Руководитель научной программы проекта «Радиоастрон» член-корреспондент РАН Юрий Ковалев отмечает три главных достижения, связанных с функционированием данного аппарата.

Первое — это открытие экстремальной



яркости квазаров. Оказалось, что квазары, их ядра излучают намного более яркое излучение, чем считалось ранее, что привело к пересмотру механизма излучения ядер квазаров.

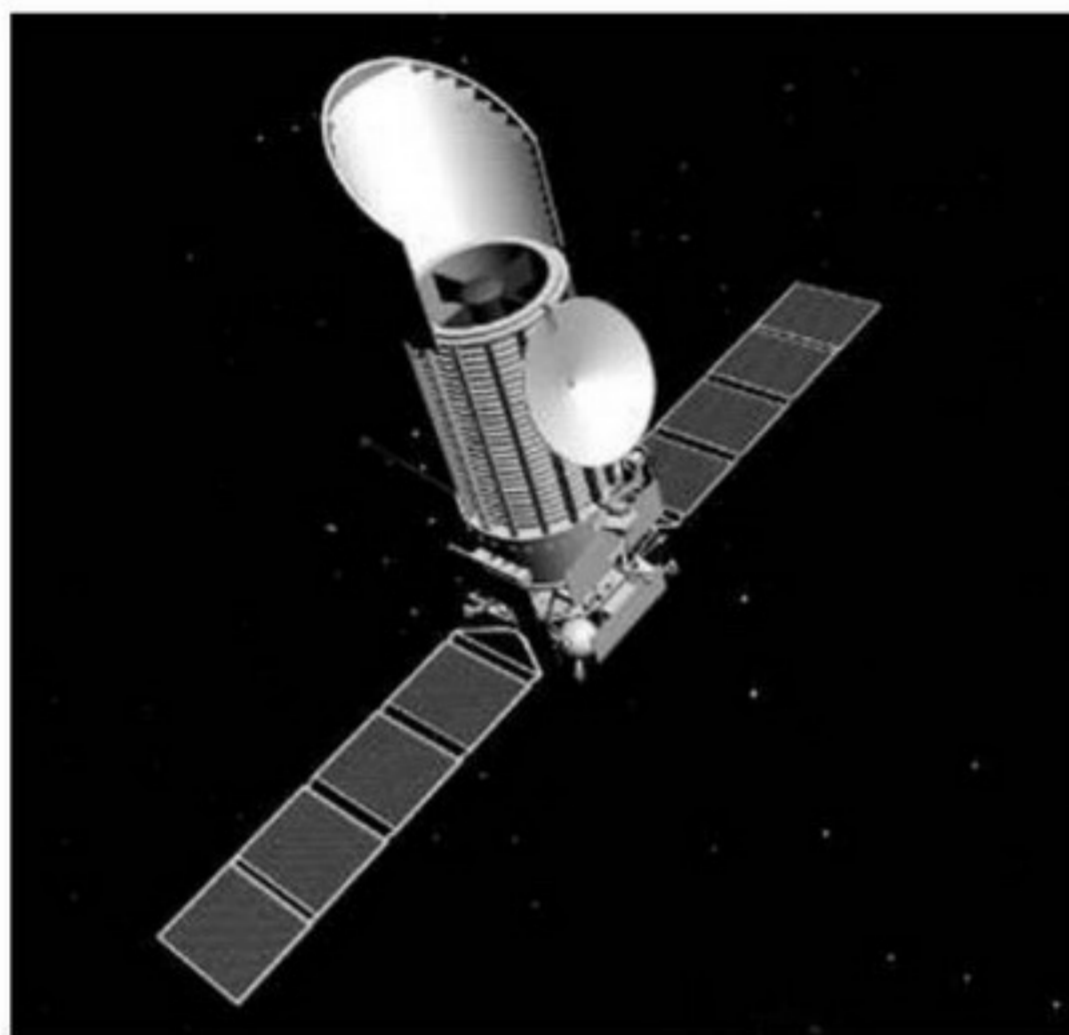
Второе — исследование механизма формирования джетов. Установлено, что

в их формировании значительную роль может играть аккреционный диск (образуемый газом, перетекающим на компактные звезды), а не только сверхмассивная черная дыра.

Третье — открытие нового эффекта рассеяния радиоизлучения в нашей галактике, который раньше был абсолютно неизвестен в астрофизике. Он позволяет оценить физические параметры облаков плазмы и пыли в нашей галактике, также его необходимо учитывать при восстановлении изображения ее центра.

«Спектр-УФ»

Проект «Спектр-УФ», в рамках которого на орбиту будет запущен ультрафиолетовый те-



лескоп, включен в Федеральную космическую программу России 2016—2025. Срок запуска на орбиту — 2024 год. Основную работу по проекту ведут Россия и Испания. В проекте решены все основные технические задачи, идет работа над изготовлением летных образцов аппаратуры. Решен наиболее критичный для проекта вопрос изготовления радиационностойких малозумящих приемников ультрафиолетового излучения: их создадут в Великобритании и Испании.

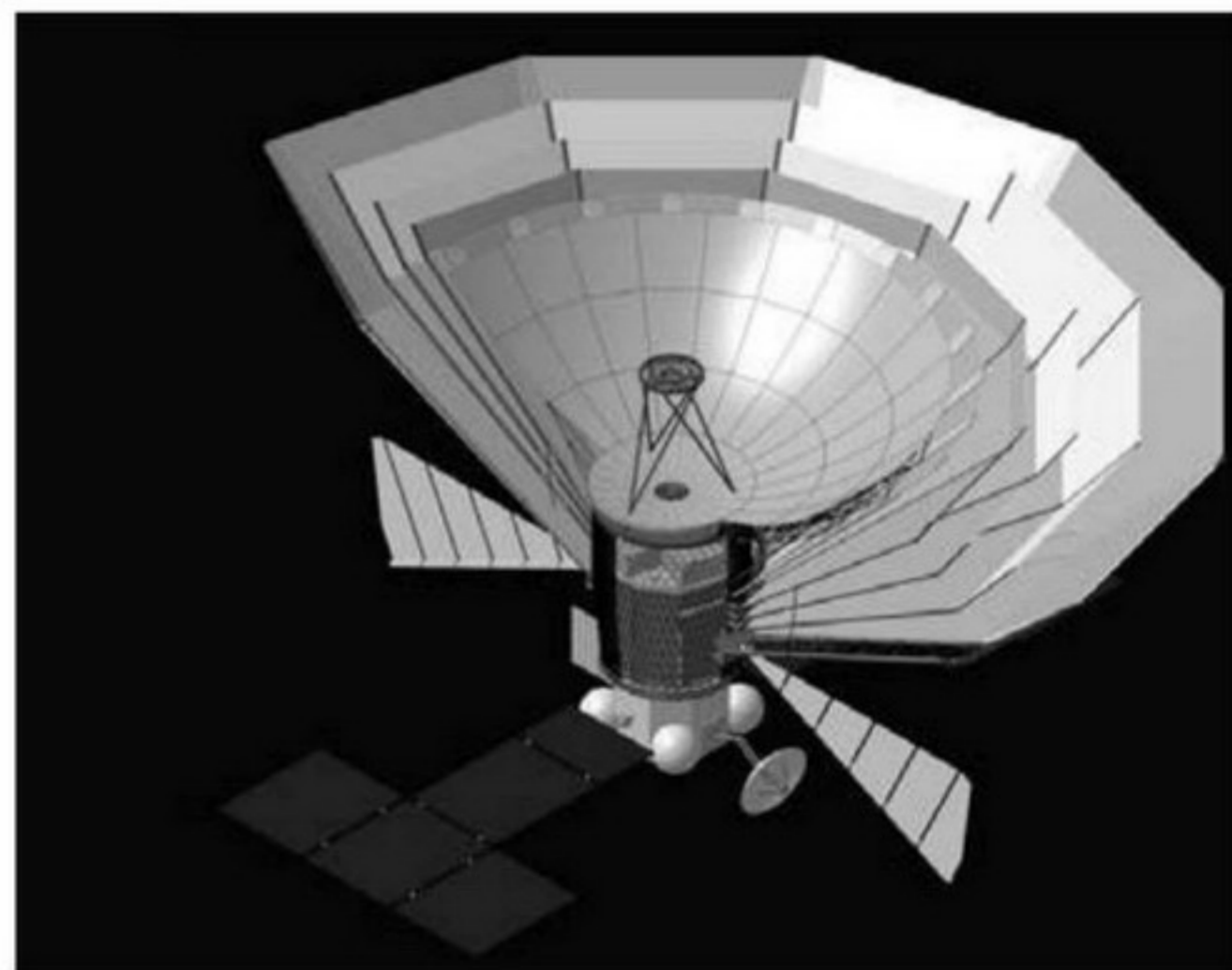
Директор Института астрономии РАН Дмитрий Бисикало отмечает высокую значимость проекта для астрофизиков: космический телескоп «Хаббл» заканчивает свою работу на орбите, а создание крупного ультрафиолетового телескопа, которое занимает не менее десяти лет, не начато ни одним космическим агентством. Таким об-

разом, проект «Спектр-УФ» станет единственным крупным прибором для спектроскопии высокого разрешения в ультрафиолетовой области спектра в течение долгого времени.

Основные научные задачи проекта: роль вспышек звездообразования в эволюции межгалактической среды, механизм образования галактик, изучение протопланетных дисков и атмосферы вокруг экзопланет.

«Спектр М»

Сроки запуска космического телескопа «Спектр-М» (Миллиметрон), который заменит радиотелескоп «Спектр-Р» (Радиоастрон), будут определены в 2019 году, сообщил директор Астрокосмического центра ФИАН, ака-



демик РАН Николай Кардашев. Лишь после этого начнутся работы по проекту.

Обсерватория «Миллиметрон» с 10-метровым космическим телескопом предназначена для исследования различных объектов Вселенной в миллиметровом и инфракрасном диапазонах на длинах волн от 0,02 до 17 миллиметров. С ее помощью ученые рассчитывают получить данные о глобальной структуре Вселенной, строении и эволюции галактик, их ядер, звезд и планетных систем, космической пыли, а также об органических соединениях в космосе, объектах со сверхсильными гравитационными и электромагнитными полями.

После запуска «Миллиметрон» отправится на рабочую орбиту — в точку Лагранжа L_2 системы Солнце-Земля на расстоянии 1,5 миллиона километров от нашей планеты.