

«Спектр-РГ» / Spektr-RG — российская миссия с участием Германии, реализуемая в рамках соглашения между Федеральным космическим агентством (Роскосмос) и Германским аэрокосмическим центром (DLR) о сотрудничестве по проекту орбитальной астрофизической обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» (СРГ), подписанного 18 августа 2009 года на Международном авиационно-космическом салоне (МАКС-2009, г. Жуковский, Россия).

Контакты для запросов СМИ:

Роскосмос: Михаил Фадеев  
Fadeev.MG@roscosmos.ru

DLR: Elisabeth Mittelbach  
elisabeth.mittelbach@dlr.de

АО «НПО Лавочкина»: Павел Примаков  
pavel.primakov@laspace.ru

MPE: Hannelore Hämmerle  
pr@mpe.mpg.de

ИКИ РАН: Ольга Закутняя  
press@cosmos.ru

© Роскосмос / DLR / АО «НПО Лавочкина» / MPE / ИКИ РАН



Российский проект  
с участием Германии

# «СПЕКТР-РГ»





## ИСТОРИЯ

Обзор всего неба космической обсерватории «Спектр-РГ» станет новым шагом рентгеновской астрономии, история которой насчитывает более 55 лет.

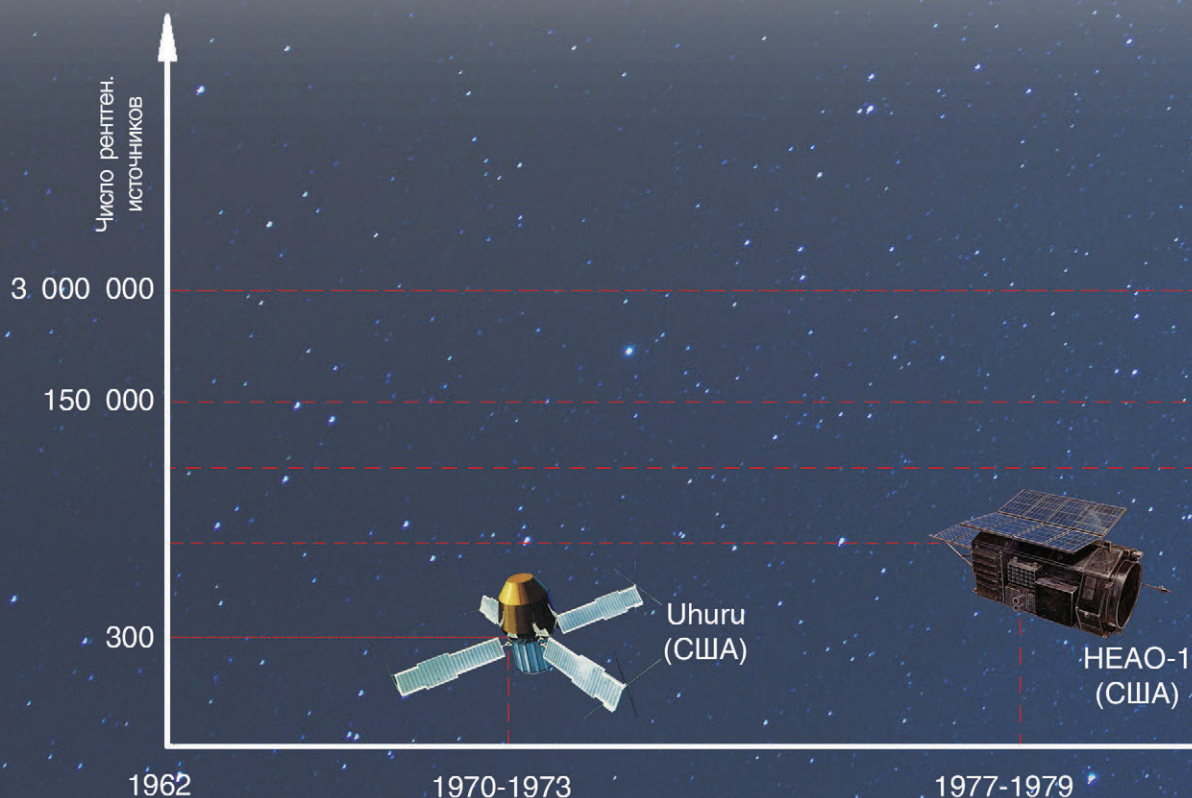
**1962 год** – впервые зарегистрировано рентгеновское излучение от источника за пределами Солнечной системы (нейтронной звезды Скорпион X-1) группой Риккардо Джаккони (лауреат Нобелевской премии по физике 2002 года).

**1970-1973 гг.** – первый специализированный рентгеновский обзор всего неба в диапазоне энергий 2–20 килоэлектрон-вольт (кэВ) проведен с помощью космической обсерватории Uhuru (НАСА). Обнаружено более 300 рентгеновских источников как в нашей Галактике, так и за ее пределами.

**1977-1979 гг.** – более чувствительный рентгеновский обзор всего неба в диапазоне 0,25–180 кэВ с помощью космической обсерватории HEAO-1 (НАСА).

**1989-1998 гг.** – наблюдения большого количества галактических и внегалактических источников с акцентом на получение высокочувствительных изображений области Центра Галактики в жестком (40-150 кэВ) и мягком (4-20 кэВ) рентгеновских диапазонах с помощью астрофизической обсерватории «Гранат» (СССР). Построены уникальные карты Центральной области нашей Галактики в рентгеновских и гамма-лучах, открыт большой ряд черных дыр и нейтронных звезд в нашей Галактике, а также первый микроквазар.

**1990-1999 гг.** – глубокий обзор всего неба в мягком рентгеновском диапазоне 0,1–2,4 кэВ с помощью обсерватории ROSAT (DLR, НАСА). Обнаружено более 150 тысяч рентгеновских источников самой различной природы, впервые построена детальная рентгеновская карта всего неба.



## КОРОТКО О ПРОЕКТЕ

«Спектр-РГ» (СРГ) / Spektr-RG — космическая астрофизическая обсерватория, нацеленная на исследование Вселенной в рентгеновском диапазоне электромагнитного излучения в окрестности либрационной точки L2 системы «Солнце-Земля».

Космическая обсерватория «Спектр-РГ» создается в рамках Федеральной космической программы России, раздел «Фундаментальные космические исследования», по заказу Российской Академии наук с участием Германии.

## НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

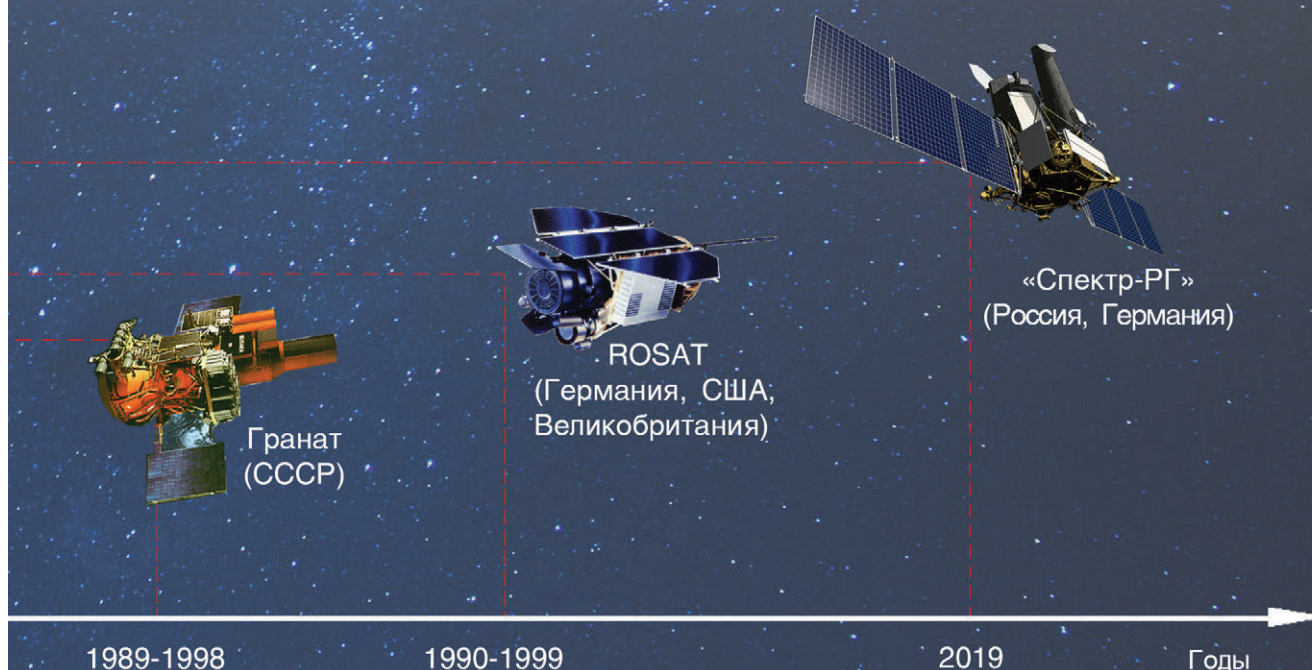
- Обзор всей небесной сферы в рентгеновском диапазоне энергий 0,3–11 кэВ с рекордной чувствительностью;
- Детальные исследования отобранных в ходе обзора астрофизических объектов в режиме трехосной стабилизации в диапазоне до 30 кэВ.

## МИССИЯ

Создание подробной «карты» Вселенной в рентгеновских лучах с крупными скоплениями галактик и ядрами активных галактик для ответа на важнейшие вопросы космологии: какова история влияния темной энергии и темной материи на формирование крупномасштабной структуры Вселенной, какова космологическая эволюция сверхмассивных черных дыр?

## ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Обнаружение около ста тысяч массивных скоплений галактик (фактически всех подобных объектов в наблюдаемой части Вселенной), около трех миллионов сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик, сотен тысяч звезд с активными коронами и аккрецирующих белых карликов, десятков тысяч звездообразующих галактик и многих других объектов, в том числе неизвестной природы, а также детальное исследование свойств горячей межзвездной и межгалактической плазмы.





## КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ

Обсерватория «Спектр-РГ» включает два уникальных рентгеновских зеркальных телескопа: ART-XC и eROSITA, работающих по принципу рентгеновской оптики косого падения. Рентгеновские фотоны обладают большой энергией. Чтобы отразиться от зеркальной поверхности, они должны попасть на нее под очень малым углом. Поэтому рентгеновские зеркала делают вытянутыми, а чтобы увеличить число зарегистрированных фотонов, их вкладывают друг в друга, получая, таким образом, зеркальную систему из нескольких оболочек. Оба телескопа состоят из 7 модулей с рентгеновскими детекторами, расположенными в фокусе каждой рентгеновской системы.



### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

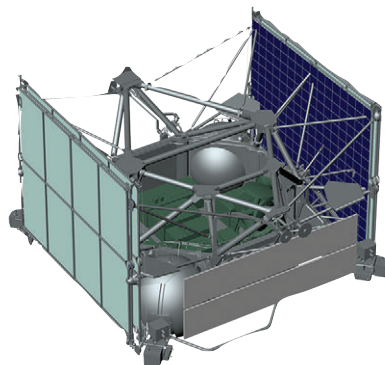
Масса заправленного КА «Спектр-РГ», кг	2712,5
Масса полезной нагрузки, кг	1210
Электрическая мощность, Вт	1805
Частотный диапазон радиолинии	X-диапазон
Скорость передачи научной информации, Кбит/с	512
Срок активного существования, лет	6,5

### КОСМИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА «НАВИГАТОР»

адаптирована под задачи проекта.

Разработана в качестве базового модуля служебных систем с возможностью адаптации под различные полезные нагрузки и рабочие орбиты.

Платформа «Навигатор» прошла летную квалификацию в составе космического аппарата «Спектр-Р» на высокоэллиптической орбите (запущен в 2011 г.) и космических аппаратов серии «Электро-Л» на геостационарной орбите (запущены в 2011, 2015 годах).



# ЗАПУСК, ПОЛЕТ, РАБОТА

## СХЕМА ВЫВЕДЕНИЯ



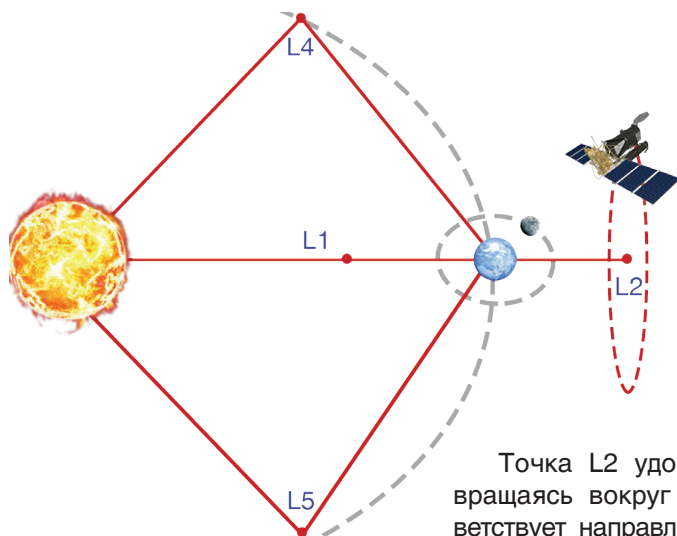
Ракета-носитель «Протон-М» (АО «ГКНПЦ имени М.В.Хруничева», Россия) оснащена улучшенной системой управления, обладает высоким уровнем эксплуатационных и экологических характеристик. С начала эксплуатации «Протон-М» состоялось свыше 100 пусков этого носителя.

Применение разгонного блока серии «ДМ» (ПАО РКК «Энергия», Россия) с маршевым двигателем многократного включения позволяет реализовать различные схемы выведения космических аппаратов и повысить надежность запусков.

## ПРОГРАММА ПОЛЕТА

- ~3 месяца после запуска — перелет в окрестность L2, юстировка, калибровка и тестирование телескопов, пробные астрофизические наблюдения;
- 4 года — проведение обзора всего неба в диапазоне 0,3–11 кэВ;
- 2,5 года — наблюдения в режиме трехосной стабилизации выбранных источников и участков небесной сферы, в том числе в более жестком энергетическом диапазоне до 30 кэВ.

## РАБОЧАЯ ОРБИТА



Гало-орбита вокруг внешней точки Лагранжа L2 системы «Солнце–Земля» на расстоянии 1,5 миллиона километров от Земли

Период обращения вокруг точки L2 около 6 месяцев

Максимальное удаление от плоскости эклиптики 400 тыс. км

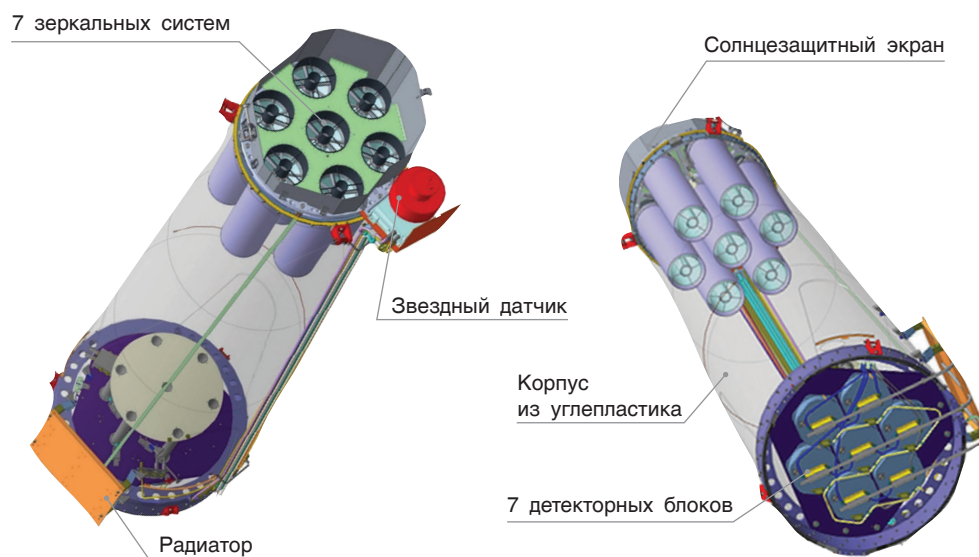
Точка L2 удобна для проведения обзоров: вращаясь вокруг оси, которая примерно соответствует направлению на Солнце, «Спектр-РГ» сможет провести полный обзор небесной сферы за полгода, при этом Солнце не будет попадать в поля зрения. За 4 года ученые смогут получить данные 8 обзоров всего неба. Но при этом предстоит решить сложную задачу – поддерживать аппарат на орбите, проводя корректирующие маневры.

## ТЕЛЕСКОП ART-X\* (РОССИЯ)

Телескоп изготовлен Институтом космических исследований Российской Академии наук совместно с Российским Федеральным ядерным центром (г. Саров, Россия).

Ведущий ученый — доктор физ.-мат. наук Михаил Павлинский.

Телескоп ART-XC расширяет рабочий диапазон энергий телескопа eROSITA в сторону более высоких энергий, вплоть до 30 кэВ. Диапазоны энергий этих телескопов перекрываются, что дает дополнительное преимущество с точки зрения проведения их калибровок и повышения надежности научных результатов.



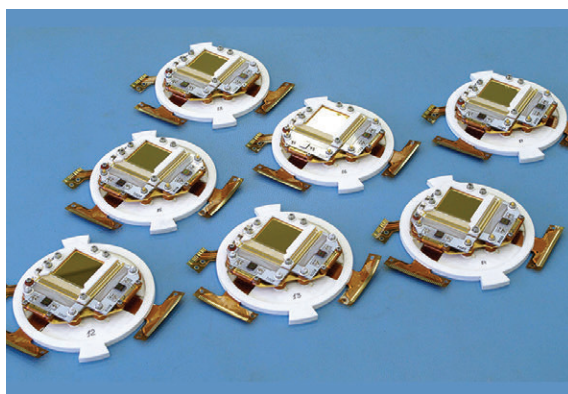
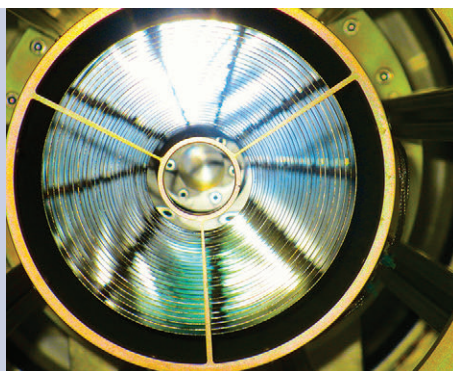
### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Энергетический диапазон, кэВ	5-30
Угловое разрешение, угл. с	45
Полное поле зрения, кв. градусы	0,3
Масса, кг	350
Энергопотребление, Вт	300
Число зеркальных модулей	7
Число зеркальных оболочек в одном модуле	28
Длина одной зеркальной оболочки, мм	580
Диаметр оболочек, мм	49-145
Фокусное расстояние, мм	2700
Материал зеркал	никель/кобальт
Покрытие зеркал	иридий
Тип детектора	DSSD, CdTe
Размер детектора, мм	30 x 30
Рабочая температура детекторов, °С	-20

\*ART-XC (Astronomical Roentgen Telescope – X-ray Concentrator) – Астрономический рентгеновский телескоп – концентратор рентгеновских лучей.

Летные зеркальные системы для телескопа сделаны в Космическом центре им. Маршалла (НАСА, США).

Зеркальные системы контрольно-доводочного образца телескопа для ресурсных испытаний созданы в кооперации с Российским федеральным ядерным центром (г. Саров, Россия).



Полупроводниковые детекторы на основе теллурида кадмия для регистрации рентгеновского излучения в фокальной плоскости разработаны и изготовлены в отделе астрофизики высоких энергий ИКИ РАН. Комплект детекторов ART-XC включает 7 детекторных блоков, размер каждого 30x30 мм, толщина 1 мм.

## ЗАДАЧИ:

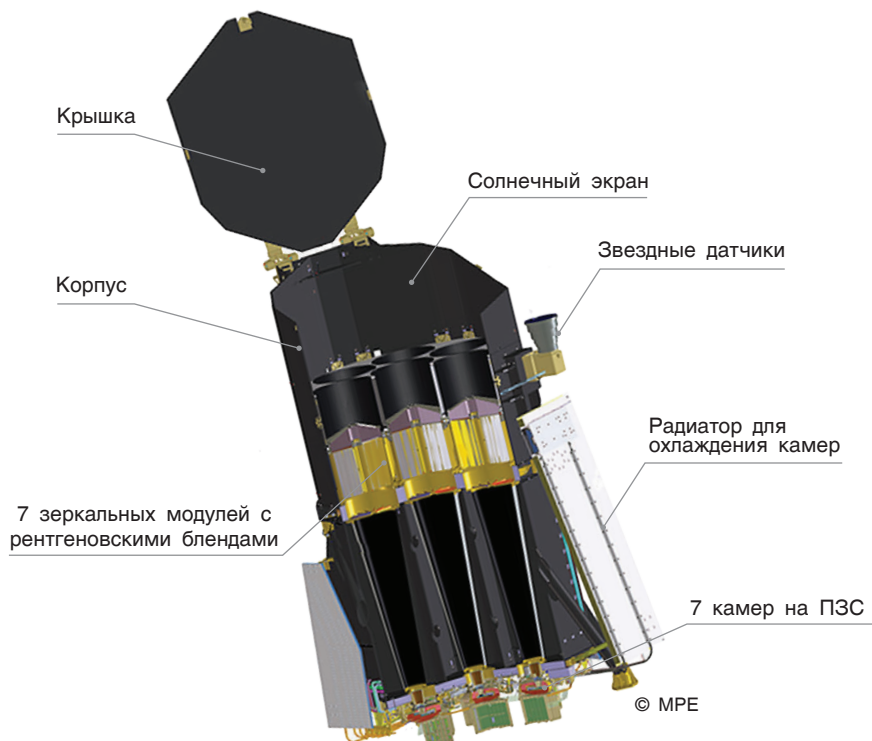
- Получить рекордно глубокую карту всего неба в диапазоне энергий 5–11 кэВ и карты областей полюсов эклиптики в диапазоне энергий 5–30 кэВ. В этом диапазоне поглощение в межзвездной среде меньше влияет на регистрируемый поток излучения по сравнению с более низкими энергиями. В сочетании с хорошим угловым разрешением телескопа это позволит уверенно регистрировать и локализовывать жесткие рентгеновские источники по всему небу. В частности, можно будет обнаружить более тысячи активных ядер галактик, в том числе несколько тысяч активно растущих сверхмассивных черных дыр, скрытых от нас в других диапазонах длин волн толстым «коконом» из пыли и газа, который окружает аккреционный диск.
- Впервые получить большую выборку аккрецирующих белых карликов в нашей Галактике и измерить их массы и другие характеристики.
- Регистрировать транзитные рентгеновские источники (объекты с переменной яркостью) на небе, среди которых могут оказаться объекты новых типов.





## ТЕЛЕСКОП eROSITA\* (ГЕРМАНИЯ)

Головная организация — Институт внеземной физики Общества им. Макса Планка, Германия. Ведущий ученый — доктор Петер Предель.

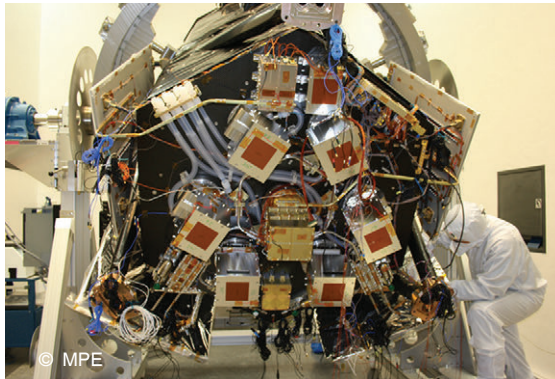
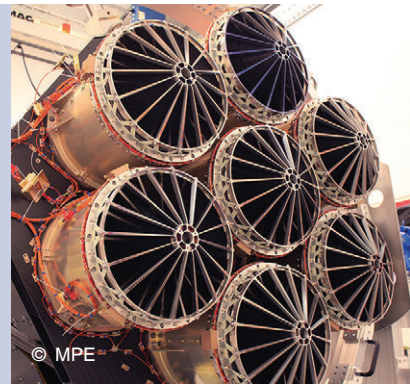


### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

Энергетический диапазон, кэВ	0,3–11
Угловое разрешение, угл. с	18
Поле зрения, кв. градусы	0,81
Масса, кг	815
Энергопотребление, Вт	405
Число зеркальных модулей, шт.	7
Число зеркальных оболочек в одном модуле, шт.	54
Длина одной зеркальной оболочки, мм	300
Диаметр оболочек, мм	76–358
Фокусное расстояние, мм	1600
Материал зеркал	никель
Покрытие зеркал	золото
Тип детектора	PNCCD, Si
Размер детектора, мм	28,8 x 28,8
Рабочая температура детекторов, °С	-95

\*eROSITA – extended ROentgen Survey with an Imaging Telescope Array – расширенные наблюдения в рентгеновском диапазоне с помощью матричного телескопа.

У телескопа eROSITA 7 одинаковых рентгеновских «глаз». Каждый глаз состоит из зеркального модуля с рентгеночувствительной камерой, расположенной в его фокусе. Зеркальный модуль состоит из 54 зеркал из позолоченного никеля, вложенных друг в друга.



Рентгеновские камеры, разработанные и изготовленные в МПЕ, содержат специальные рентгеновские детекторы на основе ПЗС-матрицы с использованием кремния высокой степени чистоты. Для достижения максимальной производительности камеры телескопа охлаждаются до температуры  $-95^{\circ}\text{C}$  с помощью сложной системы терморегулирования на базе тепловых труб и радиаторов.

## ЗАДАЧИ:

- Проведение обзора всего неба в диапазоне энергий 0,3-11 кэВ с беспрецедентным спектральным и угловым разрешением, что позволит ученым провести новые исследования темной материи и объектов Вселенной;
- Обнаружение около 3 миллионов растущих сверхмассивных черных дыр в ядрах близких и далеких галактик;
- Исследование горячей межгалактической среды в 50-100 тысячах скоплений и групп галактик, а также горячего газа в филаментах (плотных узких нитях космического вещества, состоящих из пыли и газов) между скоплениями для составления карты крупномасштабной структуры Вселенной с целью изучения эволюции космической структуры;
- Детальное изучение физики популяций галактических рентгеновских источников, таких как аккрецирующие белые карлики, нейтронные звезды и черные дыры в двойных системах, остатки вспышек сверхновых, звезды с активными коронами, протозвезды.





## НАУКА

**ВСЕЛЕННАЯ** — это, с точки зрения физики, огромная лаборатория, в которой можно получить условия, невозможные на Земле: температуры в миллиарды градусов, огромные давления, мощные магнитные, гравитационные поля. Наблюдать, что происходит при таких условиях, возможно, уловив пришедшие из Вселенной сигналы, но они не всегда могут пройти через атмосферу Земли.

В рентгеновском излучении (диапазон энергий от 0,1 до 100 кэВ), непрозрачном для атмосферы Земли, можно наблюдать наиболее энергичные события: взрывы сверхновых звезд, аккрецию на компактные релятивистские объекты — черные дыры и нейтронные звезды. В рентгеновском диапазоне излучает горячий газ в скоплениях галактик, и именно он отражает распределение вещества во Вселенной. «Перепись» скоплений галактик, которая должна быть завершена в проекте «Спектр-РГ», фактически поможет понять, как устроена наша Вселенная.

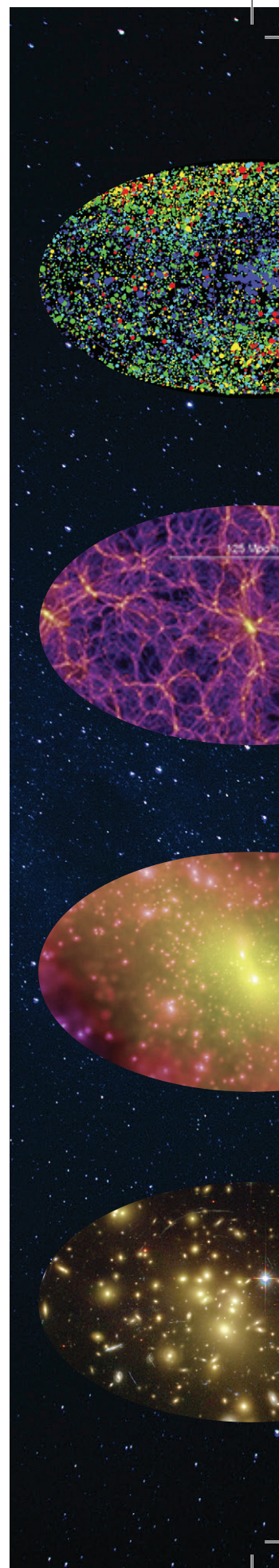
## СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК

Скопления галактик формируют **крупномасштабную структуру Вселенной**, которая напоминает паутину: скопления и межгалактический газ образуют ее нити и узлы, а между ними находятся области, практически лишенные материи.

Скопления галактик — наиболее массивные гравитационно связанные объекты во Вселенной. Иными словами, скопление галактик можно рассматривать как единый объект, поскольку входящие в него галактики, а также разогретый до десятков миллионов градусов межгалактический газ, находятся в общей глубокой гравитационной яме, созданной темной материей. Крупные скопления могут включать сотни и даже тысячи галактик, при этом полная масса скопления может составлять порядка тысячи триллионов масс Солнца.

Считается, что причиной появления скоплений послужила **темная материя**. Это экзотический вид материи, который не испускает электромагнитного излучения и взаимодействует с привычным веществом только гравитационно. Сгустки темной материи служили гравитационными колодцами, притягивая обычную материю, в которой в ранней Вселенной начиналось образование звезд (и их планетных систем), галактик, групп и скоплений галактик, причем формирование самых массивных скоплений галактик продолжается в настоящее время.

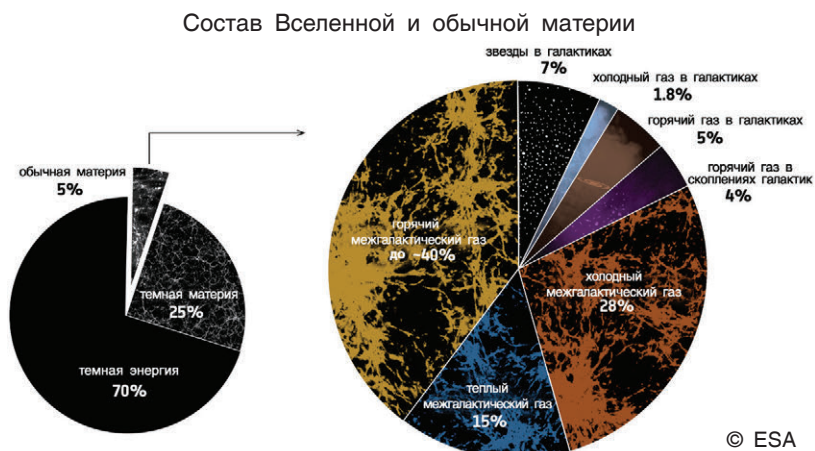
«Спектр-РГ» должен увидеть все достаточно массивные скопления галактик в наблюдаемой Вселенной. Это значит, что мы увидим не только настоящее, но и прошлое Вселенной, так как самые дальние скопления имеют возраст, уже сравнимый с возрастом Вселенной. Если проследить, как развивались скопления во времени, то можно проследить эволюцию Вселенной.



## ВОПРОСЫ КОСМОЛОГИИ

Космология — раздел астрономии, изучающий свойства и эволюцию Вселенной в целом. Известно, что Вселенная состоит из 25% темной материи, 70% темной энергии и 5% обычного вещества.

**Темная энергия** играет важную роль в эволюции Вселенной. Ее действие проявляется в том, что Вселенная сегодня расширяется с ускорением, так что кроме движения галактик друг к другу мы наблюдаем и их разбегание. Темная энергия вносит около 70% в общий баланс материи и энергии во Вселенной, но при этом проявляет себя только на очень больших расстояниях. Наблюдая за тем, как распределены скопления галактик в пространстве, можно судить о действии темной энергии и, возможно, приблизиться к ответу на вопрос, что она собой представляет.



## АКТИВНЫЕ ЯДРА ГАЛАКТИК

В центрах многих галактик находятся сверхмассивные черные дыры массами в миллионы и миллиарды масс Солнца. Они активно аккрецируют («собирают») окружающее их вещество, в результате чего являются мощнейшими источниками электромагнитного (в том числе рентгеновского) излучения, а также выбрасывают в пространство узкие струи — джеты.

Обсерватория «Спектр-РГ» должна обнаружить около 3 миллионов активных ядер галактик, расположенных на разных расстояниях, и таким образом дать ответ на вопрос, когда во Вселенной появились эти экзотические объекты и как быстро они росли.



## НАЗЕМНАЯ ПОДДЕРЖКА

Для правильного определения расстояния до наблюдаемых рентгеновских источников и их природы необходимы наблюдения в других диапазонах, прежде всего, в оптическом. С российской стороны наземную поддержку наблюдений обеспечивают следующие телескопы и обсерватории:

1) БТА (Большой телескоп азимутальный), Специальная астрофизическая обсерватория РАН, диаметр главного зеркала 6 м;

2) Кавказская горная обсерватория, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова, диаметр главного зеркала 2,5 м;

3) РТТ-150 (Российско-турецкий телескоп), находится в Турции, совместное ведение Казанского федерального университета, ИКИ РАН и Турецкой национальной обсерватории TUG, диаметр главного зеркала 1,5 м;

4) Телескопы АЗТ-33ИК и АЗТ-33ВМ, Саянская обсерватория, Институт солнечно-земной физики СО РАН, диаметр главных зеркал 1,6 м.

С немецкой стороны:

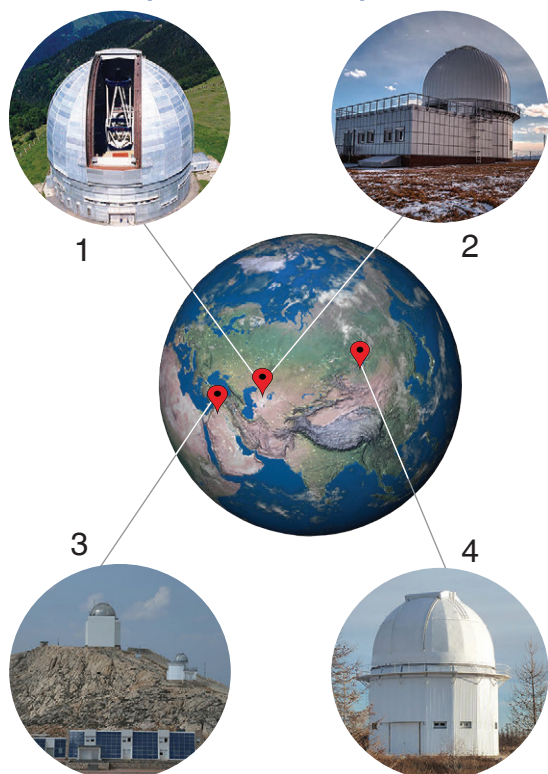
1) Широкоугольные телескопы в обсерватории Апачи-Пойнт (APO, Нью Мексико, США) и в обсерватории Лас-Кампанас (LCO, Чили), работающие по программе Слоановского цифрового обзора всего неба (SDSS-V), диаметр 2,5 м;

2) Телескоп имени Виктора Бланко с камерой DECam (Dark Energy Camera), Межамериканская обсерватория Серро-Тололо, Чили, диаметр 4 м;

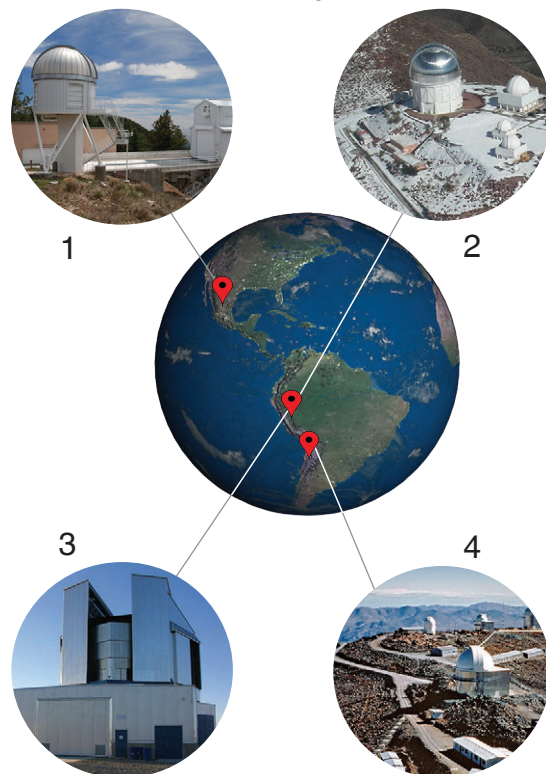
3) VISTA (Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy - Астрономический обзорный телескоп видимого и инфракрасного спектра, собственность Европейской южной обсерватории (ESO), расположен в Паранальской обсерватории, Чили, диаметр 4,1 м;

4) Телескоп в обсерватории Ла-Силья, Чили (собственность ESO), с детектором GROND, проводящим съемку одновременно в оптическом и ближнем инфракрасном диапазоне, диаметр 2,2 м.

С российской стороны



С немецкой стороны



## МЕЖДУНАРОДНАЯ КООПЕРАЦИЯ

Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос» (Госкорпорация «Роскосмос»)

Германский аэрокосмический центр (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., DLR)

АО «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (АО «НПО Лавочкина»)

Институт внеземной физики Общества им. Макса Планка (Max Planck Institut fuer Extraterrestrische Physik, MPE)

Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

Институт астрономии и астрофизики, университет Тюбингена (Institut fuer Astronomie und Astrophysik, Universitaet Tubingen)

Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, г. Саров (РФЯЦ-ВНИИЭФ)

Астрофизический институт Потсдама (Astrophysikalisches Institut Potsdam)

Гамбургская обсерватория (Hamburger Sternwarte) Университета Гамбурга (Universitaet Hamburg)

Центр космических полетов им. Маршалла, НАСА, США (NASA Marshall Space Flight Center, MSFC)

Обсерватория им. Карла Ремайса (Dr. Karl Remeis-Sternwarte) Университета Эрлангена-Нюрнберга (Universitaet Erlangen-Nuernberg)

### Головные организации:

- с российской стороны по научной полезной нагрузке: ИКИ РАН
- с российской стороны по наземному и космическому комплексу «Спектр-РГ» (за исключением научной полезной нагрузки): АО «НПО Лавочкина»
- с германской стороны по телескопу eROSITA: MPE

Научный руководитель миссии (Россия): академик Рашид Алиевич Сюняев

Научный руководитель по телескопу eROSITA (Германия): доктор Петер Предель





# ПРОГРАММА «СПЕКТР» ДО 2025 ГОДА

## «СПЕКТР-УФ»

Запуск в 2025 году

Космическая обсерватория для изучения Вселенной в ультрафиолетовом и видимом диапазонах длин волн.

Уникальный телескоп T-170M разработки НПО Лавочкина, диаметр зеркала 170 см

36 000 км

База наземно-космического интерферометра

Орбитальные космические обсерватории серии «Спектр» нацелены на исследования Вселенной во всех диапазонах длин волн электромагнитного излучения для получения уникальных научных астрофизических данных и составления полной картины Вселенной.

Самый большой в мире космический радиотелескоп, диаметр антенны 10 м

350 000 км

Уникальная конструкция из 27 раскрывающихся лепестков, центрального зеркала диаметром 3 м разработана в НПО Лавочкина

## «СПЕКТР-Р» Запуск 18.07.2011 года

Исследует Вселенную в радиодиапазоне длин волн с высочайшим угловым разрешением (рекорд - 8 миллионных долей угловой секунды).

- ✓ 4 петабайт - объем накопленных данных.
- ✓ 250 объектов Вселенной изучено.
- ✓ Более 4000 наблюдательных сеансов проведено.
- ✓ 240 ученых из 23 стран приняли участие в наблюдении.
- ✓ Более 60 радиотелескопов мира приняли участие в проекте.

1,5 млн. км

## «СПЕКТР-РГ» Запуск в 2019 году

Астрофизическая обсерватория для изучения Вселенной в рентгеновском диапазоне длин волн. В задачи «Спектр-РГ» входит проведение рентгеновского обзора всего неба с рекордной чувствительностью, обнаружение около ста тысяч скоплений галактик, трех миллионов сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик и тысяч других объектов.

400 000 км

Рентгеновский телескоп eROSITA (МФЕ, Германия)

L2

Рентгеновский телескоп ART-XC (ИКИ РАН, Россия)