

**ОТДЕЛ АСТРОФИЗИКИ  
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ  
(52)**  
HIGH ENERGY ASTROPHYSICS  
DEPARTMENT  
(52)



**Руководитель — д-р физ.-мат. наук  
Михаил Павлинский**  
Head — Dr. Mikhail Pavlinsky



**Научный  
руководитель —  
академик  
Рашид Сюняев**  
Scientific advisor —  
academician  
Dr. Rashid Sunyaev



**Академик Я. Б. Зельдович**  
(08.03.1914–02.12.1987)  
Academician Yakov B. Zeldovich  
(March 8, 1914 — December 2, 1987)

**Лаборатория экспериментальной астрофизики  
(521)** (руководитель — д-р физ.-мат. наук  
Михаил Ревнивцев)

**Experimental Astrophysics Laboratory (521).**  
Head — Dr. Mikhail Revnivtsev

**Лаборатория рентгеновской и гамма-  
астрономии, Российский центр научных  
данных обсерватории «Интеграл» (522)**  
(руководитель — д-р физ.-мат. наук  
Сергей Гребенёв)

**X-Ray and Gamma Astronomy Laboratory,  
Russia Science Data Center of the INTEGRAL  
observatory (522).** Head — Dr. Sergey Grebenev

**Лаборатория релятивистских компактных  
объектов и рентгеновской навигации (523)**  
(руководитель — д-р физ.-мат. наук  
Александр Лутовинов)

**Relativistic Compact Objects and X-Ray  
Navigation Laboratory (523).** Head —  
Dr. Alexandr Lutovinov

**Лаборатория астрофизических  
рентгеновских детекторов и телескопов (524)**  
(руководитель — канд. технич. наук  
Николай Семена), включая сектор  
рентгеновских детекторов (№ 524.1)  
(руководитель — Василий Левин)

**Astrophysical X-Ray Detectors and Telescopes  
Laboratory (524).** Head — Dr. Nikolay Semena,  
including X-ray Detectors Sector (524.1).  
Head — Vasily Levin

**Лаборатория теоретической астрофизики и на-  
учного сопровождения проекта СПЕКТР-РГ  
(525)** (руководитель — академик Рашид  
Сюняев), включая сектор научной поддержки  
обсерватории «Спектр-РГ» (525.1) (руководи-  
тель — д-р физ.-мат. наук Сергей Сазонов)

**Theoretical Astrophysics and Scientific Support  
of the *Spektr-RG* project Laboratory (525).**  
Head — academician Dr. Rashid Sunyaev,  
including Sector for *Spektr-RG* Observatory  
Scientific Support (525.1). Head —  
Dr. Sergey Sazonov

**Лаборатория электроники астрофизических  
приборов (526)** (руководитель —  
Михаил Бунтов)

**Electronics for Astrophysical Instruments  
Laboratory (526).** Head — Mikhail Buntov

Организация и становление отдела астрофизики высоких энергий ИКИ неразрывно связаны с именем одного из крупнейших физиков, Трижды Героя Социалистического Труда, академика **Якова Борисовича Зельдовича** (08.03.1914–02.12.1987). В начале 1960-х гг. он создал в Институте прикладной математики АН СССР отдел теоретической астрофизики. Это десятилетие было началом экспериментов в космосе и временем потрясающих открытий — реликтового излучения Вселенной, квазаров, радиопульсаров, первых компактных рентгеновских источников — аккрецирующих нейтронных звезд и чёрных дыр. Школа Я. Б. Зельдовича в ИПМ уже тогда стала одной из лидирующих в этой области науки.

В 1974 г., по приглашению академика Р. З. Сагдеева, Я. Б. Зельдович организовал и возглавил отдел теоретической астрофизики в относительно молодом тогда ИКИ АН СССР. Через несколько лет в результате реорганизации тематика исследований отдела сильно расширилась, в него влились две экспериментальные лаборатории, и он получил название «Отдел астрофизики высоких энергий». Его возглавил Рашид Алиевич Сюняев (член-корреспондент АН СССР с 1984 г., академик РАН с 1998 г.), ученик Я. Б. Зельдовича. Научное руководство отделом Я. Б. Зельдович оставил за собой. Так отдел и ИКИ начали входить в экспериментальную рентгеновскую астрономию.

Первые экспериментальные результаты, полученные отделом, были связаны с советско-французским экспериментом **SNEG-2MP9** по регистрации гамма-всплесков на спутнике «Прогноз-9» (1983–1984). Самым интересным было обнаружение сильной эволюции спектра ярчайшего космического гамма-всплеска 1 августа 1983 г. и открытие источника мягких повторных всплесков SGR 1806-20 в созвездии Стрельца.

В 1980-х гг. началось расширение международного сотрудничества в области космических исследований, заключены соглашения с Техническим центром Европейского космического агентства (ESTEC), голландским Центром космических исследований (SRON) в Утрехте и Институтом внеземной физики Общества им. Макса Планка (MPE) в Гархинге (Германия) о возможности установки рентгеновских приборов, изготовленных в этих институтах, на первом модуле, получившем впоследствии название КВАНТ, проектируемой космической станции «Мир». С советской стороны отвечать за эту программу было поручено Институту космических исследований. Научным руководителем программы астрофизических исследований на модуле КВАНТ стал Р. А. Сюняев. Так началось создание обсерватории «Рентген».

Organization and formation of the IKI high-energy astrophysics department are closely related to the name of one of the greatest physicists, triple “Hero of Socialist Labour”, academician **Ya. B. Zeldovich**. In the early 1960’s he established a department of theoretical astrophysics within the Applied Physics Institute of the Academy of Sciences of the USSR. That decade was the beginning of experiments in space and the time of dramatic discoveries — the cosmic microwave background, quasars, radio pulsars, first compact X-ray sources — accretive neutron stars and black holes. Even at that time Ya. Zeldovich school in the Applied Physics Institute became one of the leading schools in this field of science.

In 1974 by invitation from academician R. Sagdeev, Ya. Zeldovich arranged and took the lead of the theoretical astrophysics department in the relatively young IKI. Several years later as a result of reorganization the research area was considerably expanded, it included two experimental laboratories and was named “High-Energy Astrophysics Department”. The department was headed by Rashid Sunyaev (correspondent member of the Academy of Sciences of the USSR since 1984, RAS academician since 1998), student of Ya. Zeldovich. Ya. Zeldovich retained academic advising of the department. This was the way how the department and the IKI started their work in experimental X-ray astronomy.

The first experimental results obtained by the department related to the Soviet-French experiment **SNEG-2MP9** for the recording of the gamma-ray bursts on the *Prognos-9* satellite (1983–1984). The most interesting one was the discovery of the strong evolution of the spectrum of the brightest gamma-ray burst on 1 August, 1983 and the discovery of the source of the soft repeated bursts of SGR 1806–20 in the constellation of Sagittarius.

In 1980’s expansion of international cooperation started in the field of space exploration, agreements were made with the European Space Research and Technology Center (ESTEC), SRON Netherlands Institute for Space Research in Utrecht and Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics (MPE) in Garching (Germany) on the possibility of installation of X-ray instruments manufactured by these Institutes on the first module, named afterwards *Kvant*, of the future *Mir* space station. From the Soviet side the Institute of Space Research was responsible for this program. R. Sunyaev has become a scientific advisor for the astrophysical research program on the *Kvant* module. This was the beginning of the *Rentgen* observatory.



**Михаил Ревнивцев**  
Mikhail Revnivtsev



**Сергей Гребенёв**  
Sergey Grebenev



**Александр Лутовинов**  
Alexandr Lutovinov



**Николай Семена**  
Nikolay Semena



**Василий Левин**  
Vasily Levin

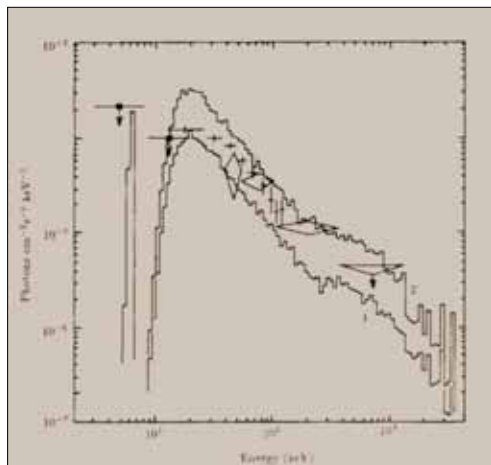


**Сергей Сазонов**  
Sergey Sazonov



**Михаил Бунтов**  
Mikhail Buntov





**Спектр жёсткого рентгеновского излучения от сверхновой SN1987a, измеренный приборами модуля КВАНТ. Сплошные кружки (верхние пределы на поток) — телескоп ТТМ, кресты — спектрометр HEXE, ромбы — спектрометр «Пульсар-X1». Гистограммой показаны модели излучения сверхновой за счёт распада радиоактивного кобальта, полученные при помощи расчётов: 1 — на 180-й день после взрыва; 2 — на 210-й день**

*A hard X-ray spectrum from SN1987a supernova measured by the instruments of the Kvant module. Solid circles (maximum limits per flux) — TTM telescope, crosses — HEXE spectrometer, diamonds — Pulsar-X1 spectrometer. The histogram shows supernova radiation models due to radioactive cobalt decay obtained by calculations: (1) — on day 180 after the explosion; (2) — on day 210*



**Станция «Мир» с пристыкованным модулем КВАНТ**

*Mir space station with the Kvant module docked*

Эта обсерватория включала четыре прибора, три из которых были изготовлены в западноевропейских институтах и один — жёсткий рентгеновский инструмент «Пульсар X-1» — в СССР. За его создание отвечал ИКИ. Существенную роль в его производстве сыграли Институт космических исследований в Баку, Азербайджанская ССР, и филиал ИКИ во Фрунзе, Киргизская ССР. Кристаллы для детекторов прибора были выращены в Усолье-Сибирском и Харькове.

Модуль КВАНТ был выведен на орбиту ракетой «Протон» с космодрома Байконур 31 марта 1987 г. Незадолго до этого, 23 февраля 1987 г., в ближайшей к нам галактике Большое Магелланово Облако вспыхнула сверхновая, которая в пике яркости была видна на пределе чувствительности человеческого глаза. Она стала самой яркой сверхновой за последние 400 лет и получила название SN1987A. Телескопы модуля КВАНТ немедленно начали наблюдения. Одновременно теоретики в отделе астрофизики высоких энергий ИКИ рассчитали и предсказали спектр излучения, возникающего вследствие радиоактивного распада никеля-56, синтезированного при коллапсе и гибели звезды и выброшенного в околозвёздное пространство вместе с её внешними слоями.

Первые же оценки показали, что оптическая толщина расширяющейся оболочки по комптоновскому рассеянию очень велика, и гамма-линии радиоактивного распада

This observatory included four instruments, three of them were manufactured in the Western European institutes, and one was manufactured in the USSR, it was a hard X-ray instrument *Pulsar X-1*. IKI was responsible for its manufacture. A significant role in the manufacture of this instrument was played by the Institute of Space Research in Baku, the Azerbaijan SSR and an IKI branch in Frunze, Kirgiz SSR. The crystals for the instrument detectors were grown in Ussolye Sibirskoe and Kharkov.

The *Kvant* module was inserted into orbit by the *Proton* launcher from the Baikonur Cosmodrome on 31 March, 1987. Shortly before, on 23 February, 1987, a supernova exploded in the nearest galaxy of the Large Magellanic Cloud, this supernova on its peak brightness was seen at the visual threshold. It has become the brightest supernova over the last 400 years and was named SN1987A. *Kvant* telescopes immediately started observations. At the same time, theoreticians in the IKI high-energy astrophysics department calculated and predicted the emission spectrum resulting from the radioactive decay of nickel-56 synthesized during the collapse and death of a star and emitted to the circumstellar space together with the star's outer layers.

никеля-56, превращающегося в кобальт-56, а затем в привычное нам железо, не имеют никаких шансов выйти из неё. Но с расширением оболочки её оптическая толща по комптоновскому рассеянию уменьшается, и сверхновая должна со временем становиться видимой в жёстких рентгеновских лучах. И такой сигнал действительно был обнаружен через полгода после взрыва, а измеренный спектр оказался похож на результаты расчётов сотрудников отдела. Это позволило молодой команде отдела астрофизики высоких энергий убедить западных коллег, что действительно наблюдается сигнал от взрыва сверхновой звезды, в ходе которого было синтезировано около 7 % массы Солнца в виде радиоактивного никеля-56. Результаты наблюдений были опубликованы в журнале *Nature*, ведь такой спектр излучения астрофизики наблюдали впервые.

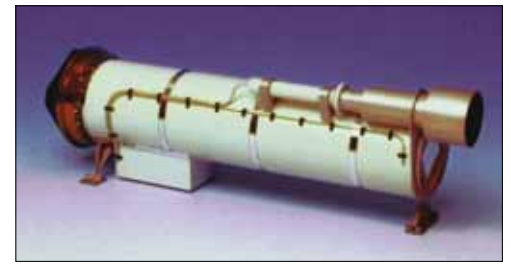
За годы работы обсерватории «Рентген» было получено множество научных результатов и открыты десятки новых рентгеновских источников, названных KS (KvantSource). Были получены уникальные карты области центра Галактики в рентгеновском диапазоне, в частности, даны первые важные ограничения на яркость источника Стрелец A\* — сверхмассивной чёрной дыры в центре нашей Галактики, светимость которой, согласно результатам наблюдений, не превышает  $10^{35}$  эрг/с. КВАНТ обнаружил несколько чёрных дыр в тесных двойных системах, открыл одну из наиболее быстро вращающихся нейтронных звёзд в нашей Галактике (KS 1731-260, частота вращения 524 Герц!), следил за изменениями периода вращения десятка рентгеновских пульсаров. Это был один из самых результативных экспериментов на борту космической станции «Мир», на основе его данных было опубликовано около 100 статей, набравших более 1000 ссылок в мировой астрофизической литературе.

Практически одновременно с подготовкой к запуску обсерватории «Рентген» в ИКИ велись работы по созданию космической обсерватории на самостоятельном спутнике для детальных исследований астрофизических объектов в диапазоне энергий 2 кэВ — 100 МэВ. Международная астрофизическая обсерватория получила название «Гранат», её создавали совместно советские, французские, датские и болгарские учёные. Два основных прибора: телескопы АРТ-П и «Сигма» (Sigma) — работали по принципу кодирующей апертуры и дополняли друг друга, имея перекрывающиеся рабочие диапазоны энергий: 2...60 кэВ (АРТ-П) и 30 кэВ — 2 МэВ («Сигма»). Телескоп АРТ-П был разработан специалистами отдела астрофизики высоких энергий ИКИ и ОКБ ИКИ (Фрунзе, ныне Бишкек).

The very first estimates showed that the optical depth of the expanding envelope in Compton scattering is very large and the gamma-ray lines of radioactive decay of nickel-56 turning into cobalt-56 and then into traditional iron have no chance to leave the envelope. But when the envelope is expanding, its optical depth in Compton scattering is reducing and a supernova shall eventually become visible in the hard X-rays. And this kind of a signal was actually discovered half a year after the explosion and the measured spectrum turned out to be similar to the results of calculations made by the department's staff members. This enabled a young team of the high-energy astrophysics department to persuade their Western colleagues that it was the actual signal from the supernova explosion during which about 7 percent of the solar mass was synthesized in the form of radioactive nickel-56. The observation results were published in the *Nature* journal for it was the first time when the astrophysicists observed such an emission spectrum.

During the *Rentgen* observatory work many scientific results were obtained and dozens of new X-ray sources were discovered, named KS (KvantSource). Unique X-ray maps of the Galactic center were obtained, particularly, the first important limits on the brightness of the Sagittarius A\* radio source — a location of a supermassive black hole in the center of our galaxy, which luminosity, per observation results, does not exceed  $10^{35}$  erg/s. *Kvant* discovered several black holes in the contact binary systems, one of the fastest spinning neutron stars in our galaxy (KS 1731-260, the spin period is 524 Hertz!), was monitoring the changes in the spin periods of dozens of X-ray pulsars. It was one of the most effective experiments aboard the *Mir* space station. Based on the data obtained from this module more than 100 articles were published which were referred to in the international publications on astrophysics more than 1000 times.

Virtually at the same time with preparation for the *Rentgen* observatory launch, IKI was conducting works on establishing a space observatory on an independent satellite for detailed research of astrophysical objects within energy range of 2 keV through 100 MeV. The observatory was named *Granat*, it was created together by Soviet, French, Danish, and Bulgarian scientists. Two main devices: telescopes ART-P and *Sigma* were operating on a principle of a coded aperture and complemented each other, having overlapping operational ranges of energies: 2...60 keV (ART-P) and 30 keV — 2 MeV (SIGMA). The ART-P telescope was developed by the specialists of the IKI High Energy Astrophysics Department and IKI Special Design Bureau (Frunze, currently Bishkek).



Рентгеновский телескоп ТТМ TTM X-ray telescope

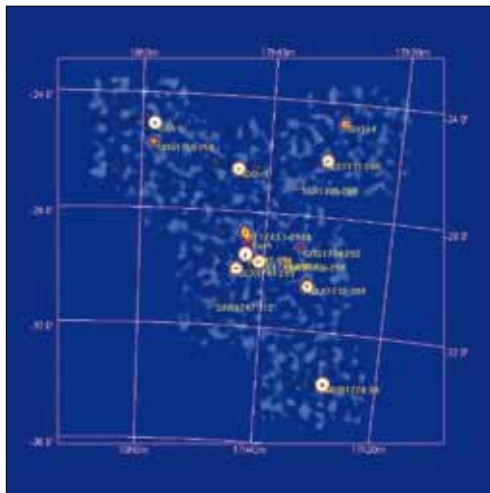


Сотрудники ИКИ и иностранные специалисты возле спектрометра ГЕКСЕ IKI employees and foreign experts near the HEXE spectrometer



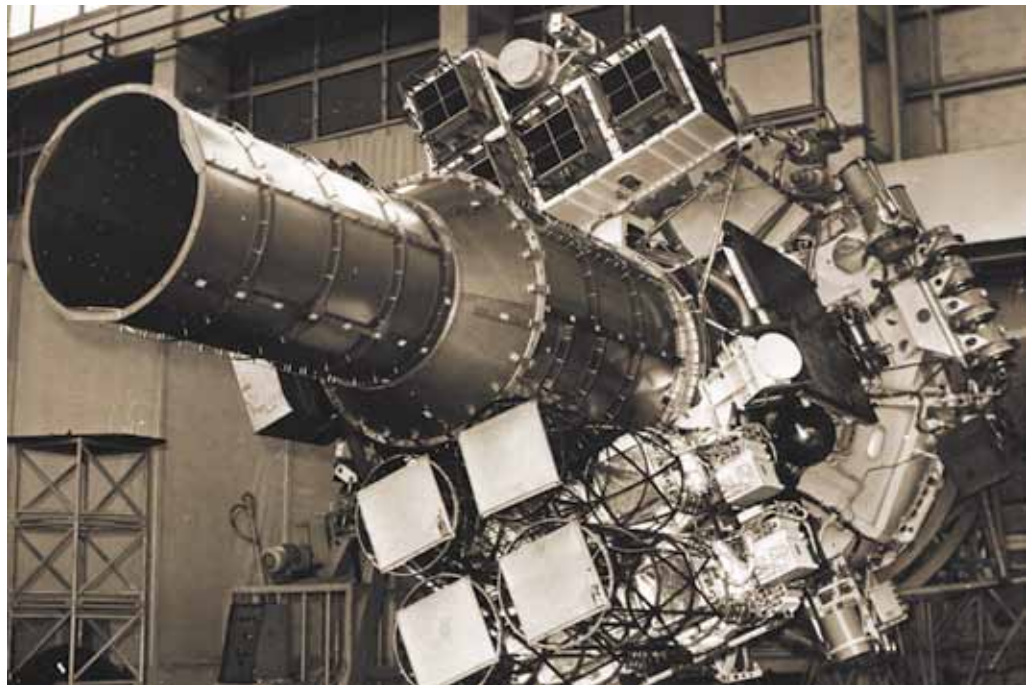
Один из модулей телескопа с кодирующей апертурой АРТ-П обсерватории «Гранат» One of the modules of the ART-P coded aperture telescope aboard Granat observatory





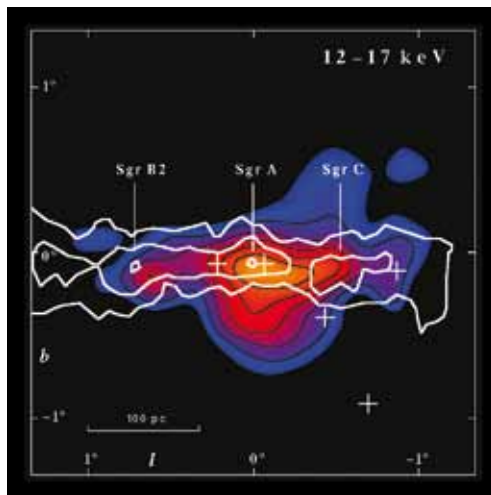
**Карта области центра Галактики в диапазоне энергий 4...30 кэВ, полученная телескопом АРТ-П обсерватории «Гранат»**

Map of the region on the Galactic center in 4...30 keV energy band, obtained by ART-P telescope aboard Granat observatory



**Международная астрофизическая орбитальная обсерватория «Гранат» в цехе НПО им. С. А. Лавочкина. 1988 год**

Granat International orbital observatory at Lavochkin Association plant, 1988



**Изображение области центра Галактики в диапазоне энергий 12...17 кэВ, полученное телескопом АРТ-П обсерватории «Гранат». Белые контуры показывают распределение молекулярного газа. Рентгеновское излучение, регистрируемое от молекулярного облака Sgr B2, рождается в результате отражения излучения, произведённого в прошлом сверхмассивной чёрной дырой в центре Галактики**

An image of the region in the Galactic center within 12...17 keV energy range obtained from the ART-P telescope of the Granat observatory. The white outline shows molecular gas distribution. The X-rays recorded from the Sgr B2 molecular cloud are emitted as a result of reflection of the emission produced by a supermassive black hole in the past

Гигантский телескоп «Сигма» с кодирующей маской, позволяющей строить изображения в жёстких рентгеновских и мягких гамма-лучах, был изготовлен в Ядерном центре Франции в Сакле и Космическом центре в Тулузе. Обсерватория «Гранат» была запущена 1 декабря 1989 г. с космодрома Байконур.

Одним из главных результатов наблюдений телескопа АРТ-П стало получение надёжного доказательства, что центр Галактики очень слаб в рентгеновских лучах — его светимость оказалась на много порядков меньше критической эддингтоновской светимости для сверхмассивной чёрной дыры с массой 3...4 миллиона солнечных масс.

Однако телескоп АРТ-П зарегистрировал протяжённое жёсткое (8...22 кэВ) рентгеновское излучение от гигантского молекулярного облака Стрелец В2, находящегося примерно в 100 пк от сверхмассивной чёрной дыры. Сотрудники отдела предположили, что это отражённое молекулярным газом излучение чёрной дыры, которая раньше (около 300 лет назад) была примерно в миллион раз ярче, чем сейчас. Было предсказано существование переменного во времени излучения во флуоресцентной линии железа с энергией 6,4 кэВ. Спустя почти 15 лет и этот результат, и предсказание блестяще подтвердили наблюдения зарубежных обсерваторий «Интеграл», ASCA, BeppoSAX, XMM-Newton и Chandra.

По данным телескопа «Сигма» были получены первые изображения области центра

A huge *Sigma* telescope with a coded mask enabling to make images in hard X-rays and soft gamma-rays was built in the Saclay Nuclear Research Center and in the Toulouse Space Center. The *Granat* observatory was launched on 1 December, 1989 from the Baikonur cosmодrome.

One of the main results of the ART-P telescope observations was obtaining a reliable proof that emission of the Galactic central region is very weak in the X-ray spectrum — its luminosity was found to be several orders less than the critical Eddington luminosity for a supermassive black hole having a mass of 3...4 million of the solar masses.

However, the ART-P telescope recorded an extended hard (8...22 keV) X-ray emission from the giant Sagittarius B2 molecular cloud located at approximately 100 pc from the supermassive black hole. The department's staff members assumed that this is a reflected by the molecular gas emission of this black hole, which earlier (about 300 years ago) was approximately one million times brighter than now. Existence of the time-variable iron fluorescent-line emission of 6.4 keV energy was predicted. Almost 15 years later this result and this prediction were confirmed by observations made by the foreign observatories — *Integral*, *ASCA*, *BeppoSAX*, *XMM-Newton*, and *Chandra*.

Based on the data from the *Sigma* telescope, the first images of the region in the Galactic center in hard X-rays and soft gamma-rays from 35 through 600 keV were obtained. Names of the sources discovered by *Granat*

Галактики в жёстких рентгеновских и мягких гамма-лучах от 35 до 600 кэВ. Названия источников, открытых «Гранат», начинаются с букв GRS, т.е. G*R*an*a*t*S*ource. 13 октября 1990 г. телескоп «Сигма» зафиксировал сильнейшую вспышку от известного источника 1E1740-2924 в диапазоне энергий 400...600 кэВ. Полученные данные были интерпретированы как свидетельство аннигиляции электронно-позитронной плазмы вблизи чёрной дыры. Последовавшие радионаблюдения на крупнейшем телескопе апертурного синтеза VLA в США привели к обнаружению радиовыбросов у этого источника, а сам он был назван Великим Аннигилятором.

Очень важным событием стало открытие в августе 1992 г. с помощью прибора ВОТЧ рентгеновского источника GRS 1915+105, который оказался самым мощным в Галактике. В марте 1994 г. поток излучения от него сильно увеличился. Инициированные этим событием наблюдения на американской решётке апертурного синтеза VLA позволили обнаружить два релятивистских выброса, один из которых перемещался в картинной плоскости неба со скоростью, превышающей скорость света. Так был открыт первый в Галактике источник со «сверхсветовым» разлётом радиокомпонент. До этого такие объекты наблюдались лишь в ярчайших внегалактических радиоисточниках, связанных с активностью сверхмассивных чёрных дыр. Объект, невидимый до 1992 г., с тех пор проявляет себя на разных уровнях активности почти четверть века.

В сентябре 1994 г. обсерватория «Гранат» была переведена в режим сканирования и провела обзор неба в жёстких рентгеновских лучах. Передача данных с обсерватории была закончена 27 ноября 1998 г., обсерватория разрушилась при входе в атмосферу 25 мая 1999 г. Плодом её работы стали более трёхсот научных статей в ведущих научных журналах, собравших более 3500 ссылок.

Серьёзные успехи и научные результаты, полученные обсерваториями «Рентген» и «Гранат», подвели учёных разных стран к мысли о создании полноценной космической лаборатории гамма-лучей, которая позволяла бы не только строить изображения неба в жёстких рентгеновских и гамма-лучах и проводить спектральный и временной анализ рентгеновских источников в широком диапазоне энергий, но также проводить и тонкую спектроскопию. Так родилась концепция международной астрофизической лаборатории гамма-лучей, или обсерватории «Интеграл», совместного проекта Европейского и Российского космических агентств. В октябре 2002 г. обсерватория «Интеграл» была выведена на орбиту. Научный руководитель проекта от России — академик Р. А. Сюняев.

start with letters GRS which means *G**R*an*a*t*S*ource. On 13 October, 1990 the SIGMA telescope recorded the strongest burst from a known source 1E1740-2924 within the energy range of 400...600 keV. The obtained data were interpreted as a proof of annihilation of the electron-positron plasma near the black hole. Further radio observations using the largest aperture-synthesis VLA telescope in the USA led to discovery of radio emission from this source, and the source itself was named the Great Annihilator.

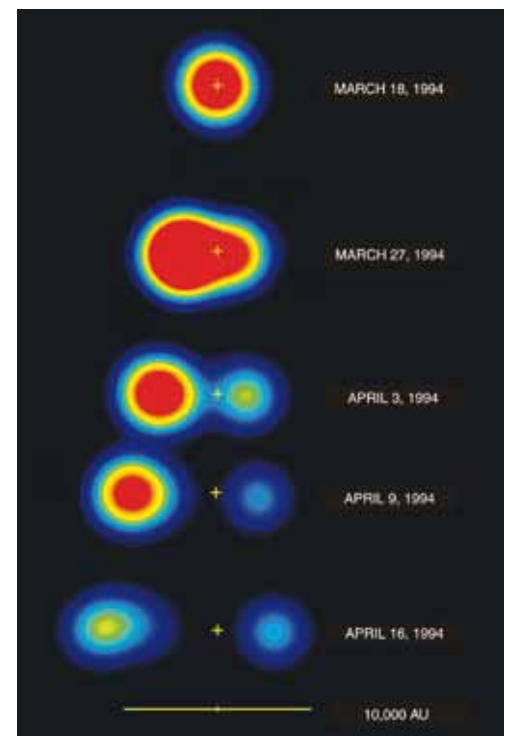
In August 1992 a very important event was the discovery, using the WATCH instrument, of the X-ray source GRS 1915+105 which turned out to be the strongest in the Galaxy. In March 1994 the radiation flux from this source has increased significantly. Initiated by this event observations using the US aperture-synthesis VLA enabled to find two relativistic jets one of which was moving in the perspective plane of the sky at the speed exceeding the speed of light. So that the first in the Galaxy source with superluminal expansion of radio components was discovered. Earlier similar objects were observed only in the brightest extragalactic radio sources associated with activity of supermassive black holes. Since then the object unseen until 1992 is showing itself at various activity levels for almost 25 years.

In September 1994 the *Granat* observatory was switched to a scanning mode and performed the observation of the sky in the hard X-rays. The data transfer from the observatory ended on 27 November 1998 and the observatory underwent destructive reentry on 25 May 1999. The results of its operation included more than 300 research articles in the top journals with more than 3500 references.

Significant achievements and research results obtained by the *Rentgen* and *Granat* observatories gave scientists of different countries an idea of establishing a proper space laboratory of gamma-rays which would enable not only to make sky images in hard X-rays and gamma-rays and perform a spectral and time-line analysis of X-ray sources in a wide range of energies but also to conduct their fine spectroscopy. This was the birth of the concept of *INTE*rnational *Gamma Ray Astrophysical Laboratory*, or *Integral*, a joint project of the European (ESA) and Russian space agencies. In October 2002, the *Integral* observatory was injected into orbit. R. Sunyaev, academician, is an academic advisor of the project on behalf of Russia.



Байконур.  
Спутник «Гранат» перед  
накаткой обтекателя  
Baikonur.  
*Granat* observatory before  
encapsulation



Последовательность  
радиоизображений  
области неба  
вокруг источника  
GRS 1915+105, открытого  
обсерваторией  
«Гранат». Хорошо виден  
сверхсветовой разлёт  
релятивистских струй

Sequence of radio images  
of the sky region around  
the GRS 1915+105 source  
discovered by the *Granat*  
observatory. A superluminal  
scattering from the relativistic  
jets can be seen clearly





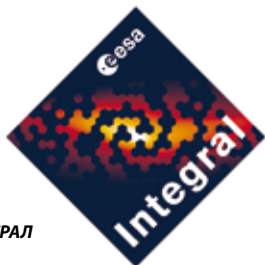
Обсерватория «Интеграл»  
Фото ЕКА

Integral observatory  
Photo ESA



Запуск обсерватории «Интеграл» ракетой Роскосмоса «Протон» с космодрома Байконур  
Фото ЕКА

Integral launched by Proton launcher from Baikonur.  
Photo ESA



Эмблема проекта ИНТЕГРАЛ  
Integral insignia

Наблюдения в жёстком рентгеновском диапазоне энергий, которые проводит обсерватория «Интеграл», позволили открыть несколько сотен новых рентгеновских источников и исследовать статистические свойства объектов разных классов. В нескольких областях неба были проведены сверхглубокие (со временем экспозиции от нескольких миллионов секунд до нескольких десятков миллионов секунд) наблюдения, что практически достигло пределов возможностей телескопов с кодирующей апертурой.

Для обсерватории «Интеграл» впервые в России был реализован принцип «национальной обсерватории». Это значит, что любой учёный из любого российского научного института, университета или обсерватории может подать заявку на проведение наблюдения любого объекта и, в случае если заявка будет одобрена российским и европейским комитетами по распределению наблюдательного времени, — получить данные наблюдений для их последующей обработки и анализа. Все научные данные, полученные в рамках российской квоты наблюдательного времени, поступают в Международный центр научных данных обсерватории «Интеграл» (ISDC, Женева, Швейцария), а затем становятся доступными для российских учёных через РЦНД обсерватории «Интеграл», организованный в отделе астрофизики высоких энергий ИКИ.

За 12 лет с использованием результатов наблюдений обсерватории «Интеграл» вышло более 250 публикаций российских учёных в ведущих научных журналах, собравших более 4000 ссылок.

Коллектив отдела астрофизики высоких энергий приобрёл большой опыт при работе с обсерваториями «Квант», «Гранат», «Интеграл» и активно использует его при работе с архивными и вновь поступающими данными многих других рентгеновских и гамма-обсерваторий, в первую очередь ROSAT, RXTE (NASA), Chandra (NASA), XMM-Newton (ЕКА). Было получено множество результатов, которые сегодня хорошо известны во всём мире.

Интерпретация данных экспериментальных наблюдений невозможна без глубокого понимания и развития теории релятивистской астрофизики и космологии. Отдел продолжает теоретические исследования по космологии, физике ранней Вселенной, реликтовому излучению Вселенной, физическим процессам в горячем газе скопленных галактик, в ядрах активных галактик и в центральной области Галактики, аккреции вещества на чёрные дыры, нейтронные звёзды и белые карлики, взаимодействию излучения с горячей астрофизической плазмой.

Observations in the hard X-ray range of energies conducted by the *Integral* observatory enabled to discover several hundreds of new X-ray sources and examine statistical properties of objects of various classes. In several regions of the sky ultra deep (with exposure time from several millions of seconds to several tens of millions of seconds) observations were conducted, which was virtually at the limit of capabilities of the coded aperture telescopes.

For the *Integral* observatory it was the first time in Russia when the principle of the national observatory was implemented. This means that any scientist from any Russian scientific institute, university, or observatory can apply for observation of any object and, if this application is approved by the Russian and European Time Allocation Committees, receive the observational data for their further processing and analysis. All the scientific data obtained within the Russian observation time quota are transferred to the International Scientific Data Center of the *Integral* observatory (ISDC, Geneva, Switzerland) and then become available for Russian scientists via the Russian Scientific Data Center (RSDC) of the *Integral* observatory established in the IKI High Energy Astrophysics Department.

Over the 12 years period more than 250 articles of Russian scientists using the *Integral* observational data were published in the top journals with more than 4000 references.

The team of the High Energy Astrophysics Department gained a vast experience when working with the *Kvant*, *Granat*, and *Integral* observatories and is making an active use of it for processing of archived and new data received from many other X-ray and gamma-ray observatories, first of all from ROSAT, RXTE (NASA), Chandra (NASA), XMM-Newton (ESA). Many results now well known worldwide were obtained.

Interpretation of the experimental observational data is impossible without a deep understanding and development of the relativistic astrophysics and cosmology theory. The department continues its theoretical research in cosmology, physics of the early Universe, cosmic microwave background, and physical processes in the hot gas of galaxy clusters, in the active galactic nuclei and in the central region of the Galaxy, accretion of matter on black holes, neutron stars, and white dwarfs, interaction of radiation with the hot astrophysical plasma.

Параллельно с этим продолжается разработка новых инструментов для рентгеновской астрофизики. Ближайший проект — российско-германская обсерватория «Спектр-РГ», которую планируется вывести на орбиту в 2016 г. Готовятся к работе два эксперимента для Международной космической станции. Кроме этого, отдел астрофизики высоких энергий ИКИ РАН участвует в наземном российско-турецком 1,5-метровом телескопе, одна из задач которого — оптическая поддержка космических наблюдений, в том числе — будущих наблюдений с помощью обсерватории «Спектр-РГ».

Сотрудники отдела опубликовали более 2400 научных статей (из них 20 — в журналах *Nature* и *Science*), на которые в мировой научной литературе было сделано 60 тысяч ссылок (по данным NASA ADS на февраль 2015 г.). На работы четырёх сотрудников отдела сделано более чем по 5 тысяч ссылок.

#### Проекты отдела / с участием сотрудников отдела

«Прогноз-9» / СНЕГ-2МР9 (1983–1984)  
РЕНТГЕН / КВАНТ (орбитальный комплекс «Мир», 1987–2001 гг.)  
ГРАНАТ (1989–1999)

ИНТЕГРАЛ (с 2002 г. по настоящее время)

Российско-турецкий телескоп РТТ-150 (совместно с Казанским федеральным университетом, Государственным комитетом по науке и технологии Турции, с 1997 г. по настоящее время)

#### В стадии разработки

«Спектр-РГ» (совместный проект Федерального космического агентства и Германского аэрокосмического агентства, 2016–2017 гг.)

«Монитор Всего Неба» (МВН, на МКС), 2016 г.)

«Рентгеновский микрофон»

#### Основные направления исследований

- Реликтовый фон Вселенной, включая эффект Сюняева-Зельдовича. Анализ физических процессов, определяющих рекомбинацию водорода и гелия во Вселенной и реионизацию Вселенной.
- Измерение функции масс скоплений галактик. Получение ограничений на космологические параметры, в том числе свойства тёмной материи и тёмной энергии. Крупномасштабная структура Вселенной. История роста сверхмассивных чёрных дыр во Вселенной.

Concurrently, new instrumentation for X-ray astrophysics is under development. The nearest project is the Russian-German *Spektr-RG* observatory planned to be inserted into orbit in 2016. Two experiments are being prepared for the International Space Station. Additionally, IKI High Energy Astrophysics Department is partaking in operation of the ground Russian-Turkish 1.5-m telescope, a task of which, among other things, is optical support of space observations including future observations using the *Spektr-RG* observatory.

The department's staff members have more than 2400 scientific articles published (20 of them in *Nature* and *Science* journals) these articles were referred to 60 000 times (per NASA ADS data as of February 2015). Papers of 4 department members were referred to more than 5000 times each.

#### Completed and Ongoing Projects

*Prognoz-9* / SNEG-2MP9 (1983–1984)  
*Rentgen* / KVANT (*Mir* space station, 1987–2001)

*Granat* (1989–1999)  
*Integral* (ESA, 2002 – today)

РТТ-150 Russian-Turkish telescope (together with the Kazan Federal University, Scientific and Technological Research Council of Turkey TUBITAK, 1997 – today)

#### Projects in Development

*Spektr-RG* (Roscosmos/DLR, 2016–17)  
*All-Sky Monitor* (onboard the International Space Station, 2016)

*X-Ray Microphone*

#### Research Areas

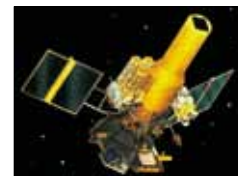
- Cosmic microwave background including Sunyaev-Zeldovich effect. Analysis of the physical processes which determine the hydrogen and helium recombination process in the Universe and Universe re-ionization.
- Measuring the mass function of the galaxy clusters. Data acquisition on the restrictions to cosmological parameters including properties of the dark matter and dark energy. The Universe large scale structure. History of supermassive black holes growth in the Universe.



Обсерватория «Прогноз-9»  
*Prognoz 9 observatory*



Обсерватория КВАНТ  
*Kvant observatory*



Обсерватория ГРАНАТ  
*Granat observatory*

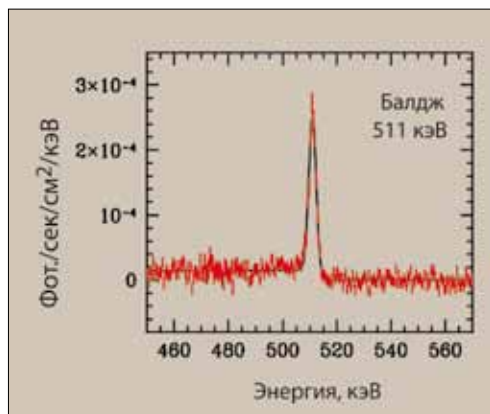


Обсерватория ИНТЕГРАЛ (ЕКА)  
*Integral observatory (ESA)*



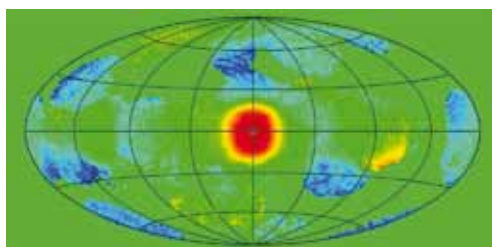
Телескоп РТТ-150  
*RTT-150 telescope*





**Спектр излучения центральной области Галактики в окрестностях эмиссионной линии аннигиляции позитронов (511 кэВ)**

An emission spectrum of the Galactic center in the vicinity of the emission line resulting from positron annihilation (511 keV)



**Изображение неба в области энергий 511 кэВ (в галактической системе координат). Хорошо видна концентрация излучения в направлении центра Галактики**

An image of the sky within the 511 keV energy range (in the Galactic coordinate system). Emission concentration towards the Galactic center can be seen clearly

- Исследование свойств и развитие методов диагностики плазмы в скоплениях галактик. Физические процессы вблизи сверхмассивных чёрных дыр, их воздействие на межзвёздную и межгалактическую среду.
- Свойства рентгеновских двойных систем и катаклизмических переменных, а также их популяций. Изучение структуры галактик по данным о пространственном распределении рентгеновских источников.
- Нуклеосинтез при взрывах сверхновых звёзд и аннигиляции вещества во Вселенной методами рентгеновской и гамма-спектроскопии. Получение ограничений на природу сверхновых. Космические гамма-всплески.
- Проведение обзоров неба в рентгеновских лучах. Поиск новых объектов. Наземная поддержка рентгеновских обзоров. Поддержка архива данных обсерватории «Интеграл». Научное сопровождение обзора неба обсерватории «Спектр-РГ».
- Формирование научных задач и разработка научно-технических предложений для будущих астрофизических обсерваторий. Разработка рентгеновских приборов для решения астрофизических задач. Отработка новых методов навигационного обеспечения космических аппаратов по сигналам рентгеновских пульсаров.

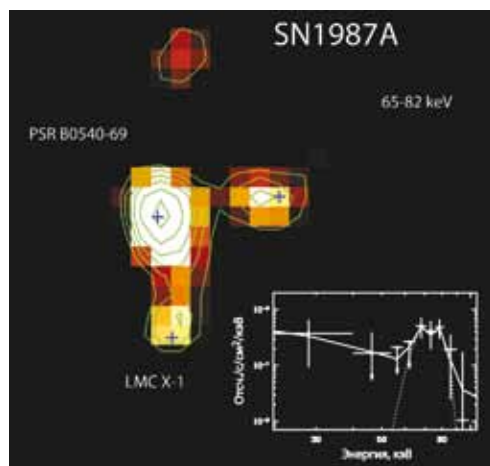
### Приборы, проекты, результаты

С помощью спектрометра высокого разрешения SPI обсерватории «Интеграл» было исследовано гамма-излучение Галактики. В измеренных спектрах выделяются линии на энергиях 511 кэВ и 1,8 МэВ, связанные с аннигиляцией электрон-позитронных пар и распадом радиоактивного изотопа  $^{26}\text{Al}$ , синтезируемого массивными звёздами. Пространственные распределения интенсивности излучения этих линий разительно отличаются: линия 1,8 МэВ тяготеет к диску Галактики, где формируются молодые звёзды, а интенсивная аннигиляция позитронов происходит в центральной зоне Галактики. По ширине линии 511 кэВ и относительной яркости трёхфотонного континуума на энергиях ниже 511 кэВ показано, что аннигиляция происходит в тёплой частично ионизированной межзвёздной среде, причём не напрямую, а через образование позитрония — короткоживущей связанной системы из электрона и позитрона. Наиболее вероятный «поставщик» позитронов — термоядерные взрывы сверхновых типа Ia, синтезирующие радиоактивный изотоп  $^{56}\text{Ni}$ , который в процессе распада  $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$  производит позитроны. Однако нельзя исключить и более экзотические сценарии рождения позитронов в центральной зоне Галактики.

- Analysis of the properties and development of the methods of plasma diagnostic in the galaxy clusters. Physical processes in the vicinity of the supermassive black holes, their influence on the interstellar and intergalactic media.
- Properties of the X-ray binary systems and cataclysmic variable stars as well as their populations. Study of the galaxy structures by the data on the spatial distribution of X-ray sources.
- Nucleosynthesis in the process of supernova explosions and matter annihilation in the Universe using the methods of X-ray and gamma-ray spectroscopy. Data acquisition on the restrictions to the supernovae nature. Cosmic gamma-ray bursts.
- X-ray sky surveys. Search for new objects. Ground support of X-ray surveys. Keeping the data archive of the *Integral* observatory. Scientific support of the sky survey using the *Spektr-RG* observatory.
- Problem descriptions and development of scientific and technical proposals for future astrophysical observatories. Development of the X-ray instrumentation to solve the astrophysical issues. Development of new methods of navigation support for spacecraft by means of signals from the X-ray pulsars.

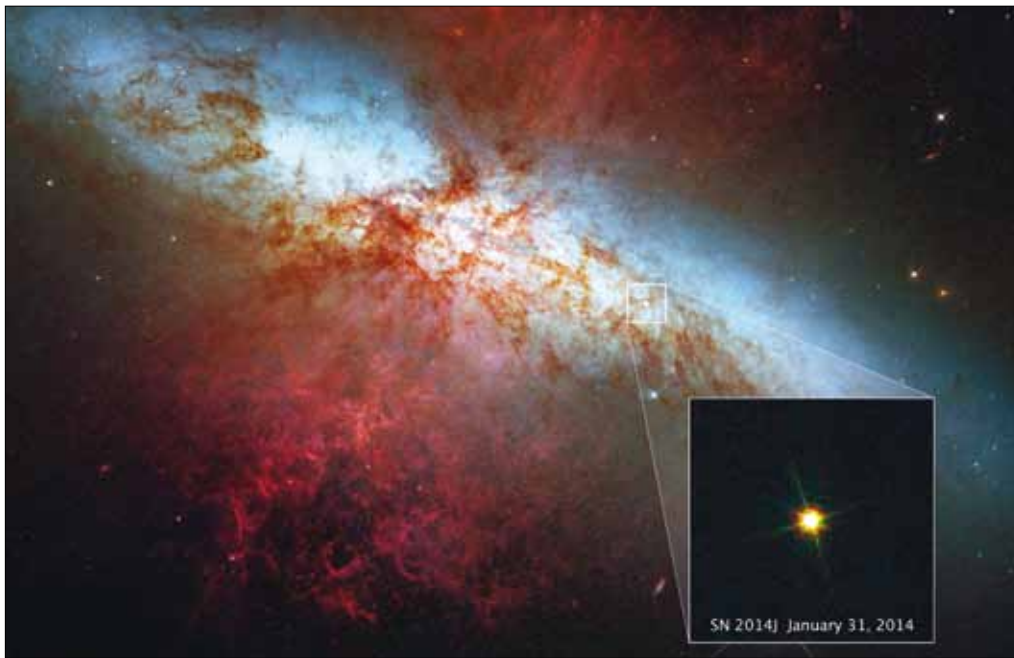
### Instruments, Projects, Results

Using the high definition SPI spectrometer of the *Integral* observatory Galactic gamma-ray emission was examined. Within the measured spectra the lines are distinguished within energies of 511 keV and 1.8 MeV associated with annihilation of the electron-positron pairs and radioactive isotope  $^{26}\text{Al}$  decay synthesized by massive stars. Spatial distribution of these lines emission intensity is in a marked contrast: line of 1.8 MeV gravitates towards the Galactic center where young stars are formed, and intensive positron annihilation takes place in the central region of the Galaxy. 511 keV line width and relative brightness of the three-photon continuum at energies below 511 keV show that annihilation occurs in a warm, partly ionized, interstellar media, and not directly, but through formation of a positronium — a short-living bound system of an electron and a positron. The most probable supplier of the positron is type Ia supernova thermonuclear explosions which synthesize the  $^{56}\text{Ni}$  radioactive isotope that produces positrons in the process of its decay  $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$ . But we cannot exclude even more exotic scenarios of positron production in the central region of the Galaxy.



**Изображение области неба вокруг сверхновой SN1987a в диапазоне энергий 65...82 кэВ. В этой области должно формироваться излучение в линиях 67,9 и 78,4 кэВ, связанное с распадом радиоактивного  $^{44}\text{Ti}$ . На врезке показан спектр излучения из области вокруг SN1987a**

An image of the sky region around SN1987a supernova within 65...82 keV energy range. In this region emission on lines 67.9 keV and 78.4 keV associated with radioactive  $^{44}\text{Ti}$  decay shall form. The inset shows the emission spectrum from the region around SN1987a



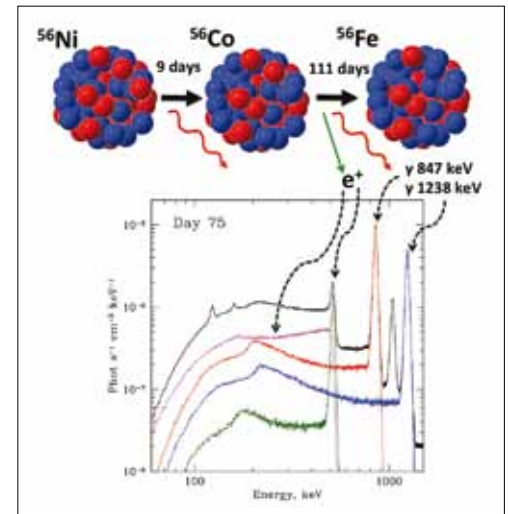
**Вспышка сверхновой SN2014J в галактике M82** SN 2014J explosion in the galaxy M82

В результате проведённых обсерваторией «Интеграл» глубоких наблюдений Большого Магелланова Облака зарегистрировано рентгеновское излучение от остатка уже упоминавшейся сверхновой 1987A в линиях на энергиях 67,9 и 78,4 кэВ, связанное с распадом радиоактивного титана-44 ( $^{44}\text{Ti}$ ). Это первое прямое доказательство образования титана во время взрыва этой интереснейшей сверхновой. По измеренному потоку излучения удалось оценить количество  $^{44}\text{Ti}$ , синтезированного при взрыве, — около 0,0003 массы Солнца, и объяснить наблюдающееся поведение яркости сверхновой в последние 20 лет.

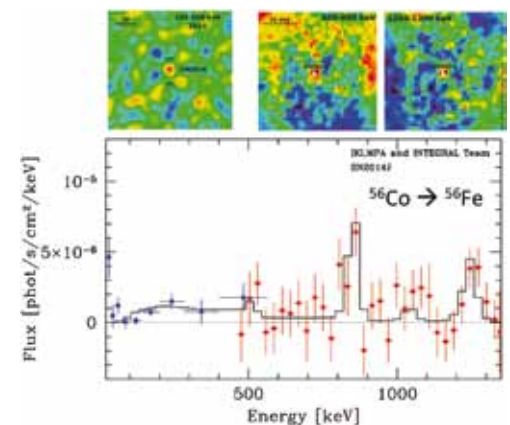
15 января 2014 г. в галактике M82 взорвалась сверхновая типа Ia, получившая название SN2014J. Она оказалась самой близкой сверхновой этого типа за всю эпоху космических обсерваторий. Сверхновые типа Ia связаны с термоядерными взрывами белых карликов с массой около Chandrasekharовского предела (1,4 массы Солнца). В процессе взрыва синтезируется большое количество радиоактивного  $^{56}\text{Ni}$ , распад которого должен сопровождаться излучением характерных линий в гамма-диапазоне. Высокая скорость разлёта и небольшая масса оболочки должны приводить к раннему выходу гамма-излучения. При поддержке Российского научного комитета проекта ИНТЕГРАЛ программа наблюдений обсерватории была оперативно изменена, чтобы обеспечить максимальный приоритет наблюдениям этого объекта.

As a result of deep observations of the Large Magellanic Cloud by the *Integral* observatory, X-ray emission from the mentioned SN1987A remnant within the lines of energies of 67.9 and 78.4 keV associated with radioactive  $^{44}\text{Ti}$  decay was recorded. This is the first direct proof of titanium production in the explosion process of this fascinating supernova. We were able to calculate the amount of  $^{44}\text{Ti}$  synthesized during the explosion using the measured emission — about 0.0003 of the solar mass, as well as to explain the observed behavior of the supernova brightness over the last 20 years.

On 15 January 2014 a type Ia supernova named SN2014J exploded in the M82 galaxy. It turned out to be the closest supernova of this type over the whole history of space observatories. Type Ia supernovae are associated with thermonuclear explosions of white dwarfs with a mass close to the Chandrasekhar limit (1.4 solar mass). During the explosion process a large amount of radioactive  $^{56}\text{Ni}$  is synthesized, decay of which shall produce indicative lines in the gamma-rays. A high speed of scattering and a small mass of the envelope shall result in early gamma-ray yield. Supported by the Russian Scientific Committee of the project, the *Integral* observation program was quickly changed to ensure the maximum priority in observation of this very object.



**Схема распада радиоактивного никеля в кобальт и железо. Чёрной гистограммой показан ожидаемый спектр излучения сверхновой на 75-й день после взрыва. Ожидаемые вклады комптоновского рассеяния линий 847 (красная), 1238 кэВ (синяя), аннигиляции позитронов (зелёная), трёхфотонной аннигиляции позитрония (сиреневая)**



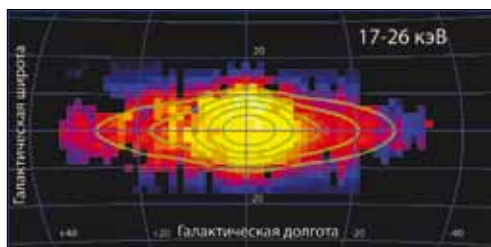
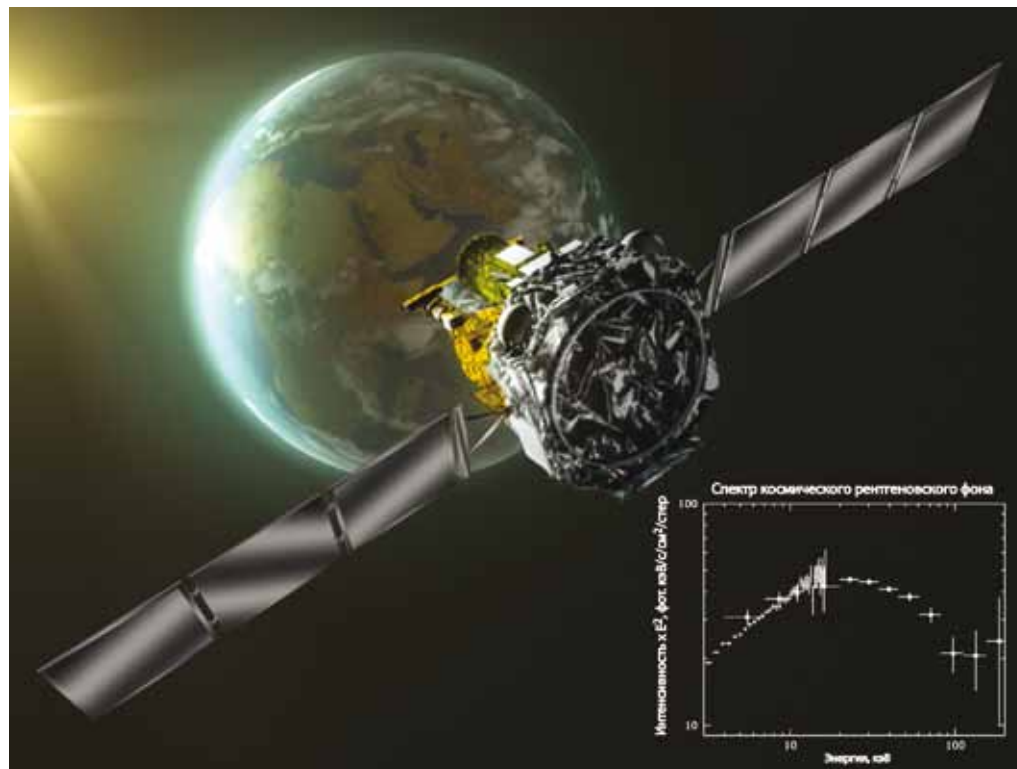
**Спектр SN2014J, полученный обсерваторией «Интеграл» с 50-го по 100-й день после вспышки. Красные и синие точки показывают данные приборов SPI и ISGR/IBIS. Чёрная кривая — модель спектра сверхновой на 75-й день после взрыва. В верхнем ряду — изображения, полученные обсерваторией «Интеграл». Чётко виден источник гамма-излучения на месте SN2014J**

SN2014J spectrum obtained by the *Integral* observatory 50 to 100 days post the burst. Red and blue dots indicate SPI and ISGR/IBIS data. A black curve is a supernova spectrum model 75 days post the explosion. Top row — images obtained from the *Integral* observatory. A gamma-ray source on SN2014J place can be seen clearly



**Обсерватория «Интеграл» во время наблюдений Земли (иллюстрация © ЕКА). Наблюдения Земли были проведены с целью отделения инструментального фона детектора от космического фона Вселенной. По результатам измерений получен спектр космического рентгеновского фона (на врезке)**

*The Integral observatory during Earth observation (artist's impression, © ESA). Earth observations were conducted to separate the detector instrument background from the cosmic background of the Universe. On completion of measurements the spectrum of the cosmic X-ray background was obtained (see the inset)*



**Поверхностная яркость «хребта» Галактики на энергиях 17...26 кэВ. Контуры отражают области одинаковой поверхностной яркости Галактики в инфракрасном диапазоне, в котором преобладает вклад обычных звезд. Соответствие карты поверхностной яркости в жестком рентгеновском диапазоне инфракрасной карте указывает на то, что источником фотонов для рентгеновского хребта Галактики являются дискретные источники, распределенные в Галактике так же, как и обычные звезды**

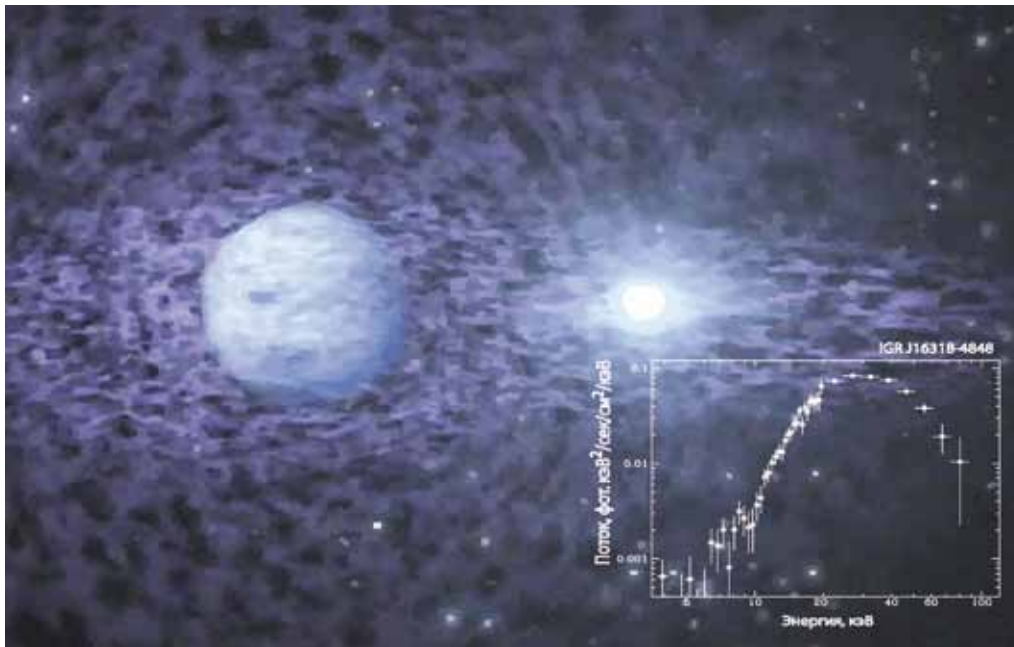
*Surface brightness of the Galactic ridge at the 17...26 keV energies. The outlines show the regions with the same surface brightness in the infrared waveband where standard stars contribution prevails. The correspondence of the surface brightness map in the hard X-rays to the map in the infrared rays points out that the discrete sources distributed in the Galaxy same way as the standard stars, are the photon sources for the X-ray Galactic ridge*

В результате удалось впервые напрямую подтвердить термоядерную природу таких сверхновых, измерить массу радиоактивного  $^{56}\text{Ni}$  и скорость разлёта и сравнить предсказания детальных моделей с наблюдаемыми спектрами в гамма-диапазоне. Эти работы, кроме научного, имели большое значение для поддержки продолжения работы обсерватории «Интеграл». В 2014 г. специальная комиссия ЕКА, рассмотрев полученные результаты и возможные перспективы, признала работу обсерватории успешной и требующей дальнейшего продолжения. Решением ЕКА финансирование обсерватории (управление спутником, приём и передача данных, наземная поддержка) гарантировано до конца 2016 г. с возможным продлением.

Жёсткий рентгеновский обзор неба по данным наблюдений обсерватории «Интеграл» позволил впервые провести систематический поиск активных ядер галактик второго типа, в которых сверхмассивная чёрная дыра скрыта от наблюдателя в других диапазонах длин волн толстым слоем пыли и холодного газа. «Интеграл» обнаружил уже несколько десятков новых объектов такого типа. Считается, что активные ядра галактик вносят основной вклад в космический рентгеновский фон (КРФ) — излучение, пронизывающее всё космическое пространство. К сожалению, чувствительности современных жёстких рентгеновских детекторов не хватает для того, чтобы разрешать рентгеновский фон на отдельные источники в жёст-

As a result, it was the first time when the thermonuclear nature of such supernovae was directly confirmed, the mass of the radioactive  $^{56}\text{Ni}$  and scattering speed were measured, detailed predicted models were compared with the observed spectra in gamma-rays. In addition to the science, these work also had a great significance in support of continuation of *Integral* operations. In 2014, ESA special commission reviewed the obtained results and potential prospects and acknowledged the observatory to be successful and the need to continue. The ESA decision guarantees observatory financial support (satellite control, data acquisition and transfer, ground support) till the end of 2016 with probable prolongation.

A hard X-ray observation of the sky based on the data obtained from the *Integral* observatory enabled the first systematic search of active nuclei of the type 2 galaxies where a supermassive black hole is hidden from the observer in other wavelength ranges by a thick layer of dust and cold gas. *Integral* has already discovered several dozens of new objects of this type. Active galactic nuclei are thought to contribute most into the cosmic X-ray background, the emission going through the whole space. Unfortunately, today's hard X-ray detectors are not sensitive enough to resolve the X-ray background into the separate sources in the hard range (above 10 keV), the range where the maximum of background intensity is. But we can obtain an important missing information on the history of supermassive black hole growth



**Художественное изображение двойной системы с мощным звёздным ветром и аккрецирующей нейтронной звездой (© ЕКА). На врезке показан спектр излучения одной из таких систем. Видно, что на энергиях ниже 10 кэВ излучение практически полностью поглощено веществом ветра**

*An artist's impression of a binary system with a powerful stellar wind and an accreting neutron star (© ESA). The inset shows the emission spectrum of one of such systems. You can see that at the energies below 10 keV the emission is almost completely absorbed by the wind matter*

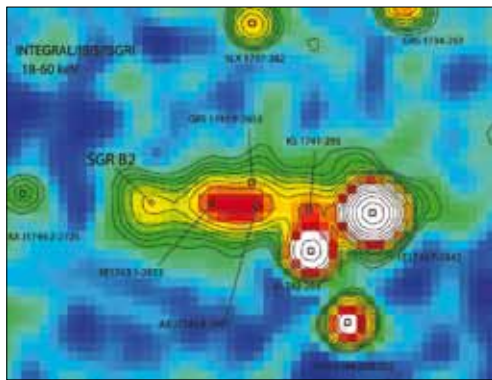
ком диапазоне (на энергиях выше 10 кэВ), на который приходится максимум его интенсивности. Однако важную недостающую информацию об истории роста сверхмассивных чёрных дыр во Вселенной можно получить и другим способом — измеряя спектр жёсткого рентгеновского фона. Специально для решения этой задачи в 2006 г. учёными отдела астрофизики высоких энергий была инициирована уникальная программа наблюдений Земли обсерваторией «Интеграл». При этом наша планета использовалась как гигантский экран, на время закрывший от приборов обсерватории излучение далёких источников, составляющих фон. В результате впервые удалось построить спектр фона в широком диапазоне энергий от 3 до 150 кэВ с точностью около 10 %.

Большое поле зрения и хорошее угловое разрешение телескопов обсерватории «Интеграл» впервые позволили получить карты и спектры так называемого «хребта Галактики» — слабого протяжённого рентгеновского излучения вдоль галактической плоскости, представлявшего собой загадку последних десятилетий. Удалось показать, что излучение хребта Галактики в жёстком рентгеновском диапазоне энергий 10...60 кэВ представляет собой суммарное излучение миллионов аккрецирующих белых карликов. На энергиях выше 100 кэВ вклад этих источников становится малым и в протяжённом излучении Галактики начинает преобладать излучение межзвёздной среды.

in the Universe by other means, i.e. by measuring the spectrum of the hard X-ray background. In 2006, specifically for resolving this issue, scientists of the High Energy Astrophysics Department initiated a unique program of Earth observation from the *Integral* observatory. Our planet was utilized as a huge screen that temporarily blocked the far source emission from the observatory instrumentation. Consequently, it was the first time when the background was recorded in a wide range from 3 through 150 keV within the accuracy of 10 percent.

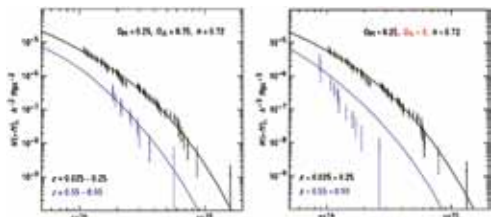
Large fields of view and a good angular resolution of the *Integral's* telescopes first enabled to obtain the maps and spectra of a so-called Galactic ridge — a weak extended X-ray emission along the Galactic plane which was a puzzle of the last decade. We succeeded in showing that the Galactic ridge emission within the hard X-ray energy range of 10...60 keV is an accumulated emission of millions of accreting white dwarfs. At the energies of above 100 keV the contribution of these sources becomes low and the interstellar medium emission starts to prevail in the extended Galactic emission.





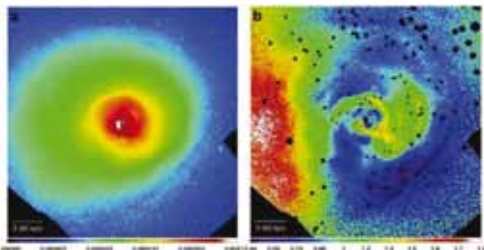
**Карта центра Галактики на энергиях 17...60 кэВ, полученная обсерваторией «Интеграл», с основными источниками. Среди них выделяется молекулярное облако Sgr B2. Свечение этой области, по всей видимости, формируется в результате отражения прошлого (300 лет назад) излучения центральной чёрной дыры в нашей Галактике**

*A map of the Galactic center at 17...60 keV obtained from the Integral observatory including primary sources. Among them, the Sgr B2 molecular cloud is distinguished. The luminance of this region is apparently formed as a result of the reflection of the past (300 years ago) emission of the central black hole in our Galaxy*



**Функция масс скоплений галактик, измеренная по данным рентгеновских обзоров. Далекие скопления галактик отобраны из обзора площадью 400 квадратных градусов, составленного по данным наведённый телескопа ROSAT (Германия). Близкие скопления взяты из обзора всего неба телескопа ROSAT. Массы скоплений измерены при помощи рентгеновских наблюдений обсерватории Чандра (НАСА). Полученные данные о функции масс скоплений свидетельствуют о том, что космологическая постоянная не равна нулю**

*Mass function of the galaxy clusters measured using the data of the X-ray observations. The remote galaxy clusters are selected from the 400 sq. deg. observation made on the basis of the pointings of the ROSAT telescope (Germany). The close clusters are selected from the all-sky observation from the ROSAT telescope. The cluster masses are measured based on the X-ray observations by the Chandra observatory (NASA). The acquired data on the cluster mass function are an evidence of a non-zero cosmological constant*



**Слева: рентгеновое изображение скопления галактик в созвездии Персея по данным обсерватории Чандра (НАСА). Справа: то же самое, но поделенное на средний профиль яркости; в таком виде более контрастно выступают относительные вариации плотности вещества в скоплении**

*Left: an X-ray image of the galaxy cluster in the constellation of Perseus from the Chandra observatory data (NASA). Right: the same image but divided by the average brightness profile; here the relative variations of the matter density in the cluster can be seen better*

Уже по первым наблюдениям нашей Галактики обсерваторией «Интеграл» было открыто новое семейство нейтронных звёзд, окружённых «коконами» пыли и газа. Яркие в жёстких рентгеновских лучах, эти объекты практически невидимы в обычном рентгеновском диапазоне (<10 кэВ). Оказалось, что это двойные системы с нейтронными звёздами, которые аккрецируют вещество с молодых звёзд с очень мощными ветрами. Кроме того, при активном участии сотрудников отдела астрофизики высоких энергий был открыт новый класс массивных рентгеновских двойных систем, в которых нейтронные звёзды, аккрецирующие вещество с массивных звёзд, могут вспыхивать на короткий период времени, повышая свою яркость иногда в сотни и тысячи раз. Всего же в ходе многолетнего обзора Галактики приборами обсерватории «Интеграл» было зарегистрировано более сотни массивных рентгеновских двойных систем, и почти половина из них — новые. Это позволило измерить распределение поверхностной плотности таких объектов в Галактике, показать, что оно коррелирует с локальным темпом звездообразования, и сравнить расположение массивных рентгеновских двойных систем с областями их предполагаемого образования.

Обсерватория «Интеграл» зарегистрировала жёсткое рентгеновское излучение на энергиях 20...150 кэВ от гигантского молекулярного облака Стрелец В2 в центральной области нашей Галактики, подтвердив результат, полученный ранее, но на более низких энергиях, с помощью телескопа АРТ-П обсерватории «Гранат». Последующие наблюдения показали, что это излучение затухает на масштабе 10 лет. Тем самым подтверждается гипотеза, что сверхмассивная чёрная дыра в центре Млечного Пути активно аккрецировала вещество примерно 300 лет назад, а сейчас мы наблюдаем «эхо» этой активности.

Получены ограничения на космологические параметры Вселенной по эволюции функции масс скоплений галактик, что даёт независимое подтверждение существования тёмной энергии во Вселенной.

Разработана теория нагрева межгалактической плазмы за счёт развития всплывающих пузырей релятивистской плазмы, связанных с активностью центральной сверхмассивной чёрной дыры.

Российско-германская рентгеновская обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма» — флагманский проект отдела. Он несёт два основных научных прибора: германский телескоп eROSITA (MPE) и российский телескоп АРТ-ХС (ИКИ РАН в кооперации с РФЯЦ — ВНИИЭФ (Всероссийским научно-исследовательским институтом экспериментальной физики, Саров) и Космическим центром им. Маршалла, НАСА, США).

Already after the first observations of our galaxy by means of the *Integral* observatory, a new family of neutron stars surrounded by so-called cocoons of dust and gas was discovered. These objects being bright in the hard X-rays were virtually invisible in a standard X-ray range (below 10 keV). It turned out that these are binary systems with neutron stars which accrete matter from the young stars with very strong winds. Additionally, High Energy Astrophysics Department's staff members were actively involved in discovery of a new class of massive X-ray binary systems where the neutron stars accreting the matter from the massive stars can flare for a few minutes with an increase in their brightness sometime hundreds and thousands of times. All in all over the long-term galaxy observation the *Integral* instrumentation discovered more than a hundred of massive X-ray binary systems and almost half of them are the new ones. This enabled to measure the distribution of the area density of such objects on the Galaxy, to show that it correlates with the local rate of star formation and to compare the location of the massive X-ray binary systems with the regions of their assumed formation.

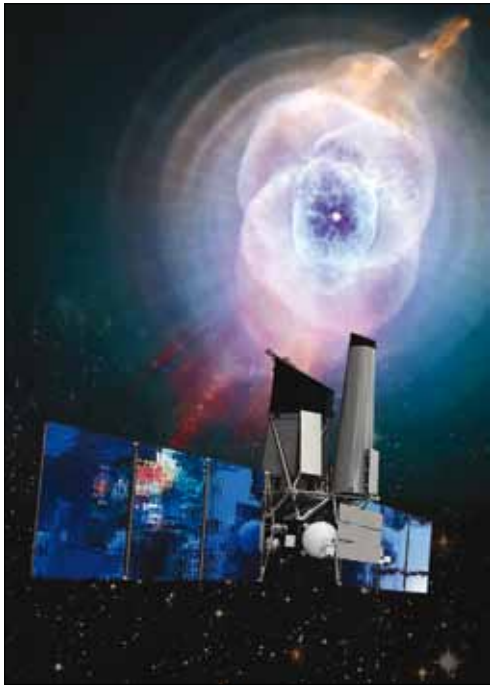
The *Integral* observatory recorded a hard X-ray emission at 20...150 keV from the giant Sagittarius B2 molecular cloud in the central region of our Galaxy that confirmed the previous results obtained at lower energies by means of the ART-P telescope of the *Granat* observatory. Further observations showed the quenching of this emission at the scale of 10 years. This confirms the hypothesis that the supermassive black hole in the center of the Milky Way was actively accreting the matter about 300 years ago and today we can observe the echo of that activity.

By the evolution of the mass function of the galaxy clusters the restrictions to the cosmological parameters of the Universe were obtained that independently confirm existence of the dark energy in the Universe.

The theory of intergalactic plasma heating through the ejection of bubbles of the relativistic plasma related to the activity of the central supermassive black hole was developed.

The Russian-German *Spektr-Rentgen-Gamma* X-ray observatory, or *Spektr-RG*, is a flagship project of the department today. After multiple modifications of the recent years, today it is carrying two primary scientific instruments: the German eROSITA telescope (Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, MPE, Germany) and the Russian ART-XC telescope (IKI in collaboration with the Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Research Institute of Experimental Physics, Sarov, and the Marshall Space Flight Center, NASA, USA).

In 2008 the department in collaboration with the Russian Federal Nuclear Center in Sarov (RFNC) developed operations on the ART-XC telescope — an X-ray mirror telescope of oblique incidence. The most complex is-



**Российско-германская рентгеновская обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма» — флагманский проект отдела**

*The Russian-German Spektr-Rentgen-Gamma X-ray observatory, or Spektr-RG, is a flagship project of the department today*



**Рентгеновская зеркальная система с 28 оболочками, установленная на гексапODE перед закаткой в вакуумную камеру для тестирования на квазипараллельном рентгеновском пучке**

*X-ray mirror assembly with 28 shells, installed on the hexapode before placing it into vacuum chamber to test with a quasi-parallel X-ray beam*

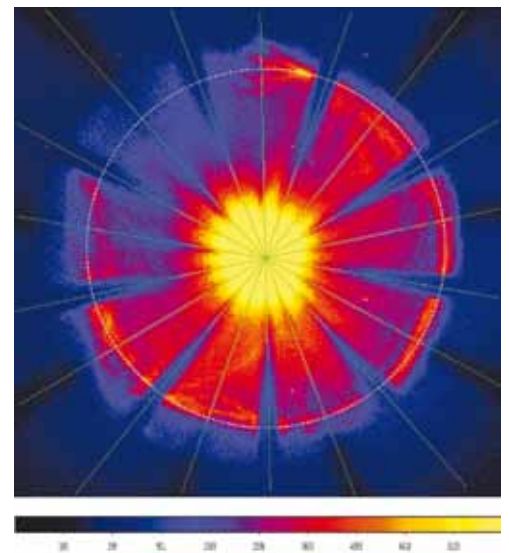


**Сборка детектора телескопа ART-XC**

*ART-XC detector assembly*

В 2008 г. отдел в кооперации с РФЯЦ в Сарове развернул работы по зеркальному рентгеновскому телескопу косого падения ART-XC. Наиболее сложной задачей оказалась разработка рентгеновской оптики на энергии до 30 кэВ и полупроводниковых позиционно-чувствительных и спектрометрических детекторов, также работающих до 30 кэВ. За сравнительно короткий срок были достигнуты заметные успехи в РФЯЦ — разработаны и освоены основные технологические процессы, в частности по прецизионной металлообработке, полировке, гальванопластике, метрологии на уровне ангстрем, высокоточной юстировке на уровне секунд дуги, созданы стенды по проверке и сборке зеркальных систем. В ИКИ был подготовлен специализированный стенд для тестирования зеркальных систем и детекторов при помощи квазипараллельного рентгеновского пучка. Однако быстро выйти на требуемые параметры зеркальных систем по угловому разрешению и эффективной площади не удалось. В 2011 г. было принято решение подключить Космический центр Маршалла NASA (США) к изготовлению лётных зеркальных систем. Изготовленные в РФЯЦ зеркальные системы будут использоваться для квалификационных испытаний телескопа.

Issues during the design of the ART-XC telescope were the development of the X-ray optics at the energy below 30 keV and semiconductor position-sensitive and spectroscopic detectors also operating at the energies below 30 keV. Over a comparatively short period a remarkable success was achieved in the X-ray optics in RFNC, it developed and/or mastered primary processes, among others precision metal forming, polishing, electrotyping, metrology at the Angstrom level, high precision adjustment at the second of arc level, created the testbeds for validation and assembly of the mirror systems. IKI prepared a special test bed to validate the mirror systems and detectors using the quasi-parallel X-ray beam. But it was hard to achieve the required parameters of the mirror systems regarding the angular resolution and the effective area. So in 2011 it was decided to engage the Marshall Space Flight Center (USA) into the manufacturing of the flight mirror assemblies with the world's best parameters. It was decided to use the mirror systems developed by RFNC for the performed validation tests of the telescope.



**Рентгеновское изображение в фокальной плоскости рентгеновской зеркальной системы телескопа ART-XC, полученное при помощи матрицы ANDOR (размер 2048x2048, размер пикселя 13x13 мкм, логарифмический масштаб)**

*X-ray image in the focal plane of the ART-XC mirror system, as obtained by ANDOR matrix (2048x2048, pixel size 13x13 micrometer, logarithmic scale)*





**Устройство МВН.**  
 В зоне видимости следующие системы:  
 в нижней части — блоки рентгеновских детекторов с блоком электроники;  
 в средней — трехслойные цилиндрические коллиматоры и модуль управления приводами;  
 в верхней части — система перекрытия апертуры

*MVN inner structure.*  
 Bottom: X-ray detector modules with the electronic module.  
 Middle: 3-layer cylindrical collimator and drive control module.  
 Top: aperture blocking system

**Сборка детектора рентгеновского излучения прибора МВН**

*Assembly of X-ray detector for MVN instrument*



Для регистрации рентгеновского излучения в фокальной плоскости в отделе были развёрнуты работы по полупроводниковым детекторам на основе теллурида кадмия (CdTe). В результате были разработаны уникальные позиционно-чувствительные и спектрометрические детекторы, которые смогли успешно выдержать все тяжелейшие испытания на механические нагрузки по ударам и вибрации, по термоциклированию, вакууму, электрической прочности, электромагнитным помехам и т.д., с сохранением основных параметров по пространственному и энергетическому разрешению. Для сборки детекторов потребовалось разработать несколько уникальных технологических операций, подготовить чистые помещения 7-го класса чистоты.

«Спектр-РГ» — крупнейший совместный проект России и Германии в области астрофизики, нацеленный на решение фундаментальных вопросов космологии — свойств и эволюции Вселенной, природы тёмной энергии и тёмной материи, возникновения и роста сверхмассивных чёрных дыр и поиску наиболее редких объектов. Обсерватория будет запущена во внешнюю точку Лагранжа ( $L_2$ ) системы Солнце-Земля и должна проработать там как минимум семь лет. Главной целью первых четырёх лет работы обсерватории должен стать обзор всего неба в рентгеновских лучах с рекордной чувствительностью. Ожидается, что в ходе обзора неба «Спектр-РГ» обнаружит все скопления галактик в наблюдаемой части Вселенной (около 100 000), около 3 миллионов аккрецирующих сверхмассивных чёрных дыр, сотни тысяч звёзд с активными коронами и аккрецирующих белых карликов, десятки тысяч звездообразующих галактик и многие другие объекты, в том числе неизвестной природы. В рамках проекта «Спектр-Рентген-Гамма» российские учёные получают 50 % данных телескопа eROSITA и все данные телескопа ART-XC.

Одновременно с созданием телескопа ART-XC в настоящее время в отделе астрофизики высоких энергий заканчивается изготовление «Монитора Всего Неба», который планируется установить на российском сегменте (РС) Международной космической станции. Его главная научная задача — измерение поверхностной яркости космического рентгеновского фона с высокой точностью. При помощи МВН планируется также решить ряд технологических задач: проверка полупроводниковых CdTe-детекторов в условиях открытого космоса, изучение эффектов поляризации CdTe-кристаллов, измерение фоновых условий на МКС.

Как было сказано, КРФ несёт информацию об истории роста сверхмассивных чёрных дыр таких объектов во Вселенной. Большинство предыдущих измерений КРФ

To record the X-ray emission in the focal plane, the department started to work on the semiconductor detectors based on the cadmium telluride (CdTe). As a result, the unique position-sensitive and spectroscopic detectors were made which successfully passed all the extreme tests for impact and vibration loads, thermal cycling, vacuum, electric strength, electromagnetic interference, etc. with main parameters of spatial and energy resolutions unaffected. Several unique process operations were developed, level 7 cleanliness rooms were prepared for detectors assembly.

*Spektr-RG* is the largest joint project of Russia and Germany in the field of astrophysics aimed at resolution of the fundamental issues of the cosmology — the Universe properties and evolution, nature of the dark energy and dark matter, formation and growth of supermassive black holes and a search for the most rare objects. The observatory will be launched to the outer Lagrangian point ( $L_2$ ) of the Sun-Earth system and shall operate there for seven years at least. The main goal of the first four years of the observatory operation shall be all-sky observation in the X-rays with the record sensitivity. It is expected that during the sky observation *Spektr-RG* will discover all galaxy clusters in the observable Universe (around 100 000), around 3 million of accreting supermassive black holes, hundreds of thousands of stars with active coronas and accreting white dwarfs, tens of thousands of star-forming galaxies and many other objects including those of unknown nature. Within the framework of the *Spektr-RG* project, the Russian scientists will receive 50 per cent of the data from the eROSITA telescope and all the data from the ART-XC telescope.

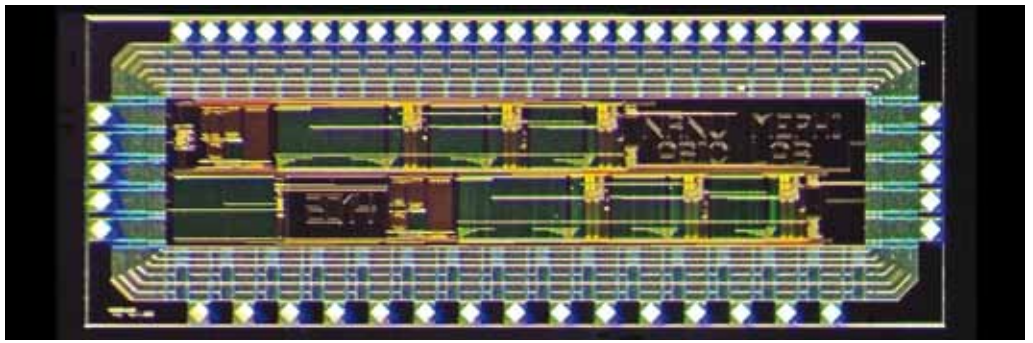
Concurrently with development of the ART-XC telescope the high energy astrophysics department is finalizing manufacture of the *All-Sky Monitor* planned for installation on the Russian segment onboard the International Space Station (ISS). Its primary scientific task is to measure the surface brightness of the cosmic X-ray background (CXB) to high precision. Using *All-Sky Monitor* it is planned to solve several technological tasks: checkup of semiconductor CdTe-detectors under the conditions of the open space, examination of polarization of the CdTe crystals, measurement of the background condition onboard the ISS.

As was said, the CXB is carrying information on the history of supermassive black holes growth of such objects in the Universe. Most of the previous CXB were measured within the energy ranges of 1...10 keV and only some of them (on the series *Cosmos* satellites, on the HEAO-1, *Integral*, and *Swift* observatories) were measured within a harder range of 10-100 keV where the maximum of CXB spectrum is. Unfortunately, the obtained values of the surface brightness of the hard X-ray background differ by 10...15 %. *All-Sky Monitor* will

приходится на диапазон энергий 1...10 кэВ, и лишь несколько (на спутнике серии «Космос», на обсерваториях НЕАО-1, «Интеграл» и Swift) — на более жёсткий диапазон 10...100 кэВ, где расположен максимум спектра КРФ. К сожалению, полученные значения поверхностной яркости жёсткого рентгеновского фона различаются на 10...15 %. МВН сможет измерить поверхностную яркость КРФ с высокой точностью и тем самым существенно поможет в понимании эволюции чёрных дыр во Вселенной. Кроме того, с его помощью можно будет обнаружить крупномасштабную анизотропию КРФ на уровне 1 %, связанную с концентрацией материи в близких скоплениях и сверхскоплениях галактик. Основная особенность спектрометра МВН — способность надёжно выделять вклад инструментального фона из полной скорости счёта событий. Это достигается за счёт вращающегося колеса, периодически закрывающего поля зрения четырёх модулей инструмента. Для отслеживания эволюции характеристик детекторов в инструменте МВН предусмотрены калибровочные источники, которые по команде с блока управления могут быть выдвинуты в поле зрения детекторов.

«Рентгеновский микрофон» — концепция перспективной обсерватории будущего, предложенная в отделе. Её собирающая площадь превысит 10 м<sup>2</sup>. Она предназначена для тонкого временного анализа и спектроскопии релятивистских компактных объектов. В качестве первого шага в создании такой обсерватории и отработки технических решений планируется установка инструмента площадью около 1 м<sup>2</sup> на МКС (проект МВН-М2).

В отделе начались работы по созданию и отработке элементов перспективной системы автономной навигации космических аппаратов. Система основана на новом принципе: регистрации и анализе ярких импульсных сигналов от быстро вращающихся нейтронных звёзд с сильным магнитным полем — рентгеновских пульсаров. Такие объекты — фактически, природные «трансляторы», аналогичные спутниковым навигационным системам GPS/ГЛОНАСС, генерирующие квазистабильные импульсы и в силу своей удалённости обеспечивающие стационарную пространственную привязку, которая позволяет автономно определить местоположение и вектор скорости космических аппаратов (КА). При использовании такой системы навигации точность определения навигационных параметров КА не будет зависеть от расстояния до Земли и наличия работающих навигационных спутников и будет одинаковой в любой точке Солнечной системы.



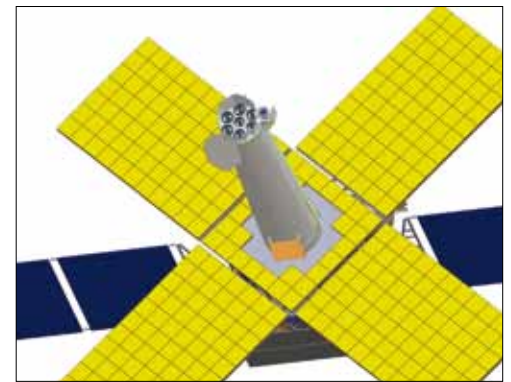
**Специализированная ИС обработки сигналов с кремниевых дрейфовых детекторов (совместная разработка НИЯУ МИФИ и ИКИ РАН)**

Specialized integrated circuit for signal processing from silicon drift detectors (joint design of MEPhI and IKI)

be able to measure the CXB surface brightness to high precision and thus will help significantly in understanding of the black holes evolution in the universe. Additionally, *All-Sky Monitor* can help discover a large-scale CXB anisotropy at the 1 % level related to the matter concentration in the close galaxy clusters and superclusters. The main peculiar feature of the *All-Sky Monitor* spectrometer is the capability to separate the instrument background contribution from the total event counting rate. This effect is reached through the rotating wheel which periodically blocks the field of vision of the four instrument modules. To track the evolution of the detector parameters, the *All-Sky Monitor* instrument has calibration sources that can be pushed into the detectors field of vision by a command from the control unit.

*X-Ray Microphone* is a concept of a potential observatory of the future proposed by the Department. Its collecting surface will be more than 10 sq. m. It is designed for a fine time-line analysis and spectroscopy of the relativistic compact objects. As a first step in development of such an observatory and technical solutions it is planned to install an instrument of the area of about 1 sq. m. aboard the ISS (*All-Sky Monitor-M2* project).

The department has started work on construction and development of the elements of prospective systems of autonomous navigation of spacecraft. The system is based on a new principle: recording and analysis of the bright pulse-type signals from the rapidly spinning neutron stars with a strong magnetic field, the so-called X-ray pulsars. These objects are virtually natural broadcasters similar to the GPS/GLONASS satellite navigation systems which generate quasi-stable pulse signals and due to their remoteness ensure a fixed spatial reference which enables to find the position and the velocity vector of a spacecraft independently. When using this navigation system the accuracy of determining the spacecraft navigation parameters will not depend on the distance to the Earth, the presence of operational navigation satellites and will be the same in any point of the Solar system.



**Возможный облик перспективной рентгеновской обсерватории под условным названием «Рентгеновский микрофон». Её основной задачей станет определение уравнения состояния сверхплотного вещества в центрах нейтронных звёзд**

A probable image of the future X-ray observatory under the conventional name X-Ray Microphone. Its primary task will be to determine the constitutive equation of the superdense matter in the centers of neutron stars





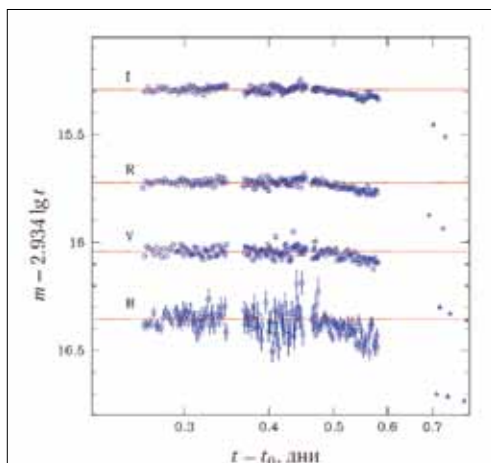
**Изображение области неба вокруг скопления галактик, обнаруженного орбитальной обсерваторией «Планк» (© ESA)**

An image of the sky region around the galaxy cluster discovered by the Planck orbital observatory (© ESA)



**РТТ-150 — Российско-турецкий 1,5-метровый телескоп (РТТ-150) на горе Бакырлы-Тепе в 60 км к северу от Анталии (Турция)**

The Russian-Turkish 1.5-m telescope (RTT-150) on the Bakirli-tepe mountain 60 km to the north from Antalya (Turkey)



**Кривая блеска одного из ярчайших гамма-всплесков GRB 030329 в разных фильтрах, полученная на телескопе РТТ-150**

A light curve of one of the brightest gamma-ray bursts GRB 030329 in different filters obtained from the RTT-150 telescope

Данные **российско-турецкого полутора-метрового телескопа РТТ-150** используются для поддержки рентгеновских наблюдений в оптическом диапазоне и отождествления рентгеновских источников. Установка телескопа началась в 1997 г., научные наблюдения на телескопе — в 2000 г. Телескоп был изготовлен на Ленинградском оптико-механическом объединении (ЛОМО). В проекте участвуют Государственный комитет по науке и технологии Турции, Казанский федеральный университет и ИКИ РАН. В конце 2014 г. действие договора по РТТ-150 было продлено ещё более чем на 10 лет. Предполагается, что основной научной задачей телескопа станет поддержка рентгеновского обзора всего неба обсерватории «Спектр-РГ».

Сегодня РТТ-150 — надёжный, высококачественный инструмент, оснащённый полным набором самых современных приборов. Одна из наиболее успешных программ, проводимых на телескопе, — многолетняя серия наблюдений скоплений галактик, отобранных по рентгеновским данным телескопа ROSAT (Германия). Это самый большой рентгеновский обзор богатых скоплений на высоких красных смещениях. По его данным удалось измерить функцию масс скоплений и получить ограничения на параметры уравнения состояния тёмной энергии и другие космологические параметры, такие как суммарная масса нейтрино. Используя эти данные вместе

The data of the **Russian-Turkish 1.5-m telescope (RTT-150)** are used to support the X-ray observations in the optical range and identification of the X-ray sources. The telescope installation started in 1997, the scientific observations started in 2000. The telescope was manufactured at the Leningrad Optomechanical Association (LOMA). The Turkey State Committee for Science and Technology, the Kazan Federal University and IKI are participating in this project. In the end of year 2014 the RTT-150 contract was prolonged for more than 10 years. It is assumed that the primary scientific task of the telescope will be the support of the X-ray all-sky survey of the *Spektr-RG* observatory.

Today RTT-150 is a reliable, quality instrument equipped with a complete set of most advanced devices. One of the most successful programs conducted with the telescope is a long-term set of observations of the galaxy clusters selected by the X-ray data from the ROSAT telescope (Germany). This is the largest X-ray observation of rich clusters at high redshifts. The data obtained from this telescope enabled to measure the cluster mass function and obtain restrictions to the parameters of the constitutive equation of the dark energy and of other cosmological parameters such as a total neutrino mass. When using these data together with accurate measurement of the anisotropy of the cosmic microwave background by the data from the WMAP (NASA) and *Planck* (ESA) space observatories together with the recent data on the measurement of the baryon acous-

с точными измерениями анизотропии реликтового излучения по данным космических обсерваторий WMAP и «Планк» (ЕКА), а также вместе с последними данными по измерению барионных акустических осцилляций, обнаружено расхождение в измерениях амплитуды возмущений плотности, полученных разными способами, что можно объяснить наличием ненулевой суммарной массы нейтрино. Это различие было недавно подтверждено на новом уровне точности по данным обсерватории «Планк». В течение последних нескольких лет на телескопе РТТ-150 и 6-метровом телескопе Специальной астрофизической обсерватории РАН ведётся обширная программа наблюдений скоплений галактик, обнаруженных по эффекту Сюняева-Зельдовича в обзоре всего неба обсерватории «Планк».

Кроме скоплений галактик, на телескопе РТТ-150 наблюдаются многие другие объекты, в том числе — оптические послесвечения космических гамма-всплесков (уже более сотни), включая наблюдения начальной стадии послесвечения гамма-всплеска 030329, одного из наиболее близких и ярких за всю историю наблюдений.

Опыт, полученный сотрудниками отдела при работе на телескопе РТТ-150, позволил получать наблюдательное время и проводить наблюдения на многих других телескопах в России и за рубежом. В последние годы большое количество различных наблюдений было выполнено на 6-метровом телескопе БТА САО РАН (Большой телескоп азимутальный Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук). Недавно, при активном участии ИКИ РАН, были начаты работы по дооснащению новыми приборами телескопа АЗТ-33ИК Саянской обсерватории Института солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН). Это позволит подключить этот телескоп к работам по наблюдениям источников, обнаруженных по их излучению в рентгеновском диапазоне.

tic oscillations, the variation in measurements of the density perturbation amplitude obtained by different methods was discovered that can be explained by the presence of the non-zero total neutrino mass. This variation was recently confirmed at the new level of accuracy by the data of the *Planck* observatory. Over the last several years the RTT-150 telescope and the 6-m telescope of the RAS Special Astrophysical Observatory, an extended program of galaxy cluster observations discovered using the Sunyaev-Zeldovich effect during the *Planck* observatory all-sky observations is being implemented.

In addition to the galaxy clusters, many other objects can be observed using the RTT-150 telescope, including the optical afterglows of cosmic gamma-ray bursts (more than one hundred up to now) including observations of the initial stage of the gamma-ray burst afterglow 030329, one of the closest and brightest bursts ever.

The experience gained by the Department's staff members when working with the RTT-150 telescope enabled to receive the observation time and perform observations with many other telescopes in Russia and abroad. In the recent years a large number of various observations were conducted using the 6-m telescope of the RAS SAO (Large Altazimuth Telescope or BTA). Recently, with the involvement of IKI the upgrade of the AZT-33IK telescope of the Sayan Solar Observatory at the Institute of Solar-Terrestrial Physics of the RAS, Siberian Branch (RAS SB), with new devices started. This will enable to engage this telescope in the works on observation of the sources discovered by their X-ray emission.