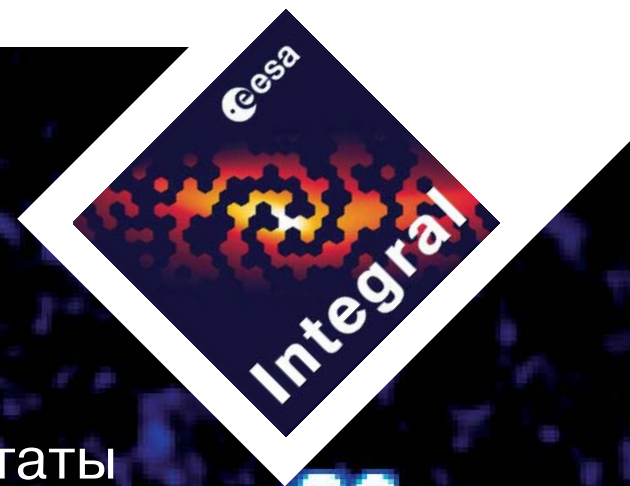


ИНТЕГРАЛ

Российские результаты
первого года наблюдений



Российская
Академия
Наук

Федеральное
Космическое
Агентство

Russian
Academy of
Sciences

Federal
Space
Agency

INTEGRAL

Highlights from Russian
AO-1 observations



Ключевой проект текущего десятилетия в области гамма-астрономии и астрофизики высоких энергий ИНТЕГРАЛ (INTErnational Gamma Ray Astrophysical Laboratory – Международная Астрофизическая Лаборатория Гамма-Лучей) направлен на изучение жесткого рентгеновского и гамма излучения от различных галактических и внегалактических объектов, построение детальных изображений неба в диапазоне энергий от 15 кэВ до 10 МэВ с высокой чувствительностью, а так же – на проведение сверхтонкой ($E/\delta E \sim 500$) гамма-спектроскопии космического излучения. Комплекс приборов обсерватории позволяет одновременно с этим мониторировать поведение космических источников в рентгеновском (3–35 кэВ) и оптическом (V-полоса, 550 нм) диапазонах.

Основными объектами изучения для обсерватории ИНТЕГРАЛ являются галактические двойные системы с черными дырами и нейтронными звездами, активные ядра галактик и излучение Галактики в ядерных линиях. Вблизи компактных объектов (черных дыр и нейтронных звезд) гравитационное поле становится экстремально сильным. Поэтому при падении (аккреции) вещества на компактные объекты выделяется огромное количество гравитационной энергии, которая эффективно перерабатывается в тепло и излучается в различных участках электромагнитного спектра. Часто галактические черные дыры и нейтронные звезды большую часть своей лучистой энергии выделяют на энергиях более 10–20 кэВ, т.е. в жестком рентгеновском диапазоне, а в некоторых состояниях вплоть до энергий более 1 МэВ. Отсутствие информации об излучении в этих участках спектра затрудняет понимание физических процессов, происходящих в непосредственной близости от таких объектов.

Приборы обсерватории ИНТЕГРАЛ не только позволяют изучать особенности рентгеновских и гамма спектров различных источников, но также дают возможность строить карты различных областей неба с беспрецедентной чувствительностью в жестком рентгеновском и гамма диапазонах. До последнего времени единственной орбитальной обсерваторией, имевшей телескопы, способные строить изображения в рентгеновском и гамма диапазонах, была советская обсерватория ГРАНАТ (телескопы с кодирующей маской АРТ-П и СИГМА, время работы на орбите 1989–1998 гг.). Инструменты обсерватории ИНТЕГРАЛ значительно превосходят по возможностям инструменты ГРАНАТа и позволяют существенно продвинуть наши знания в этом сложном участке спектра.

В 1993 г. проект ИНТЕГРАЛ был выбран для реализации как второй проект среднего класса в научной программе Европейского Космического Агентства (ЕКА). Проект разрабатывался ЕКА в кооперации с Российским Авиационно-Космическим Агентством (Росавиакосмос) и НАСА. Участие России в проекте было инициировано Российской Академией Наук (РАН) и закреплено Соглашением между Росавиакосмосом и ЕКА, введенным в действие распоряжением Правительства РФ.

Introduction

The key project of the current decade in hard X-ray and gamma-ray astronomy - INTEGRAL (INTErnational Gamma Ray Astrophysical Laboratory) is devoted to study of hard X-ray and gamma-ray emission from different Galactic and extra-galactic objects. It will survey a substantial part of the high energy sky with an unprecedented sensitivity and will measure spectra of gamma-ray lines emission with a very high resolution ($E/\delta E \sim 500$). Instruments of the observatory allow both monitoring and at the same time the study of time behavior of various cosmic sources in X-ray (3–35 keV) and optical (V-band, 550 nm) spectral bands.

Principal objects to study by the INTEGRAL observatory include Galactic binary systems harboring black holes and neutron stars, active galactic nuclei, and diffuse emission of our Galaxy in nuclear lines. In the vicinity of compact objects (black holes and neutron stars) gravitational field is extremely strong. When the matter falls (accrets) onto such objects, huge energy stored in the gravitational field is released and radiates in different parts of the electromagnetic spectrum. Generally, accreting Galactic black holes and neutron stars emit energy at energies above 10–20 keV, i.e. in the hard X-ray energy range, and in some cases even at energies up to 1 MeV. So any information about emission from these sources at such energies helps us to understand physical mechanisms operating in the immediate vicinity of compact stars.

Instruments of the INTEGRAL observatory enable us not only to study the spectral properties of individual sources, but also provide us with an ability to survey different regions of the sky with an unprecedented sensitivity and accuracy in the hard X-ray and gamma-ray energy bands. The construction of sky maps at these energies is a very complicated task. The main problem is that the photons of such energies practically can not be reflected from any surface that makes it impossible to focus them for usual imaging. For image reconstruction the telescopes of the INTEGRAL observatory use the method of coded aperture. The mask, consisting of transparent and opaque elements, is placed above the detector that records the incident photons. Cosmic point sources generate different shades on the detector depending on their position in the field of view of the telescope. To reconstruct the image of the observed sky, a computer analysis of these shade patterns is used. Until recently, the only orbital observatory equipped with a telescope capable of constructing hard X-ray and gamma-ray sky images was the Soviet observatory GRANAT (coded mask telescopes ART-P and SIGMA, on orbit 1989–1998). Instruments onboard the INTEGRAL observatory surpass those of GRANAT and allow us to significantly improve our knowledge in this difficult energy range.

The INTEGRAL project was chosen by the European Space Agency (ESA) as a second project with medium size budget. The project was developed by ESA in cooperation with Russian Avia Space Agency (ROSAVIKOSMOS) and NASA. The involvement of Russian Federation in the project was initiated by the Russian Academy of Sciences (РАН) and was then formally endorsed the contract between ROSAVIAKOSMOS and ESA. This contract was ratified by the government of Russian Federation.

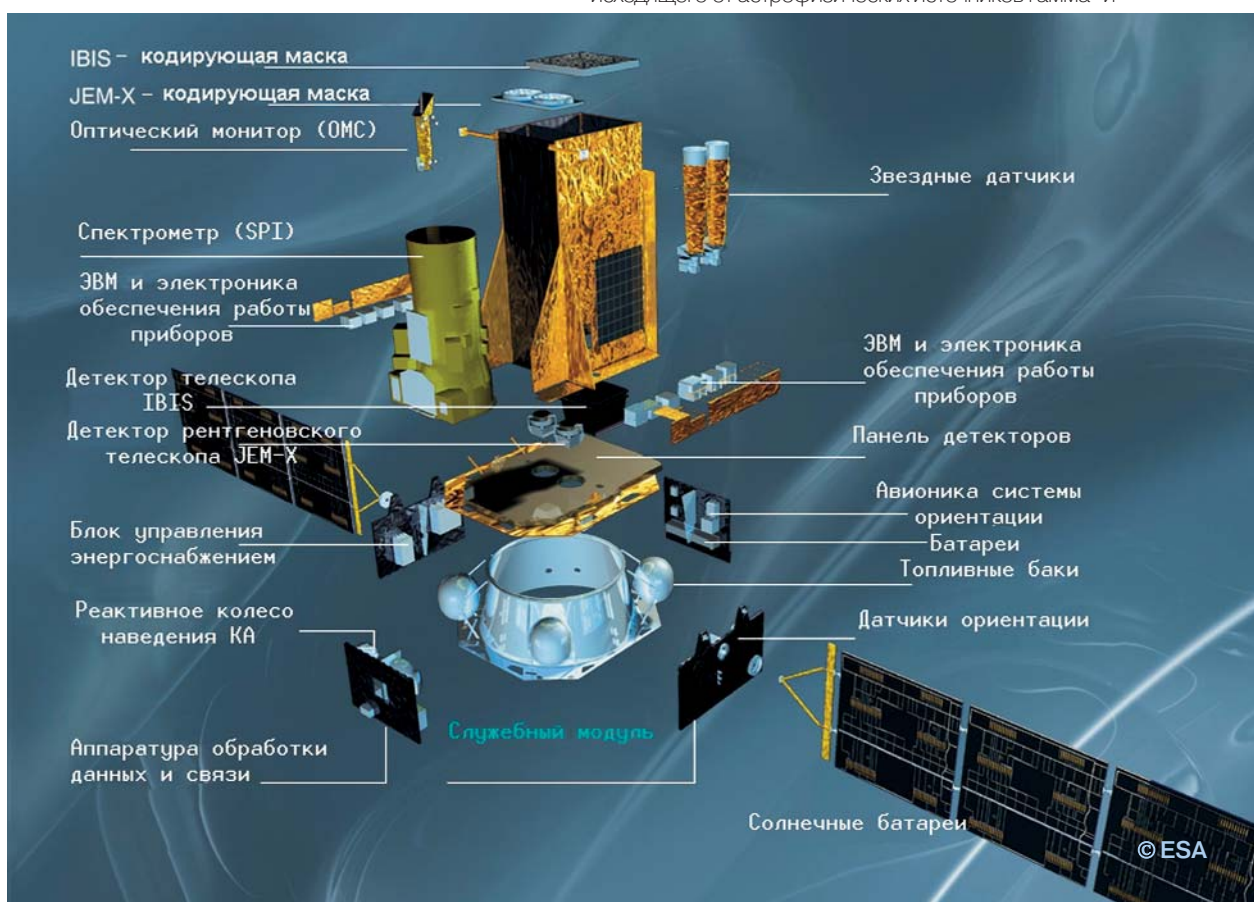
Приборы обсерватории

Спектрометр SPI (SPectrometer on INTEGRAL) по своей чувствительности в ядерных линиях намного превосходит все существовавшие до сих пор инструменты орбитальных обсерваторий. Он состоит из 19 шестиугольных регистрирующих элементов, изготовленных из сверхчистого германия и охлаждаемых до температуры 90 градусов по шкале Кельвина. Диапазон чувствительности этого детектора от 20 кэВ до 8 МэВ. Для снижения помех, вызываемых космическими лучами и наведенной ими радиоактивностью материала спутника, детектор снабжен активным экраном из кристаллов окисла германата висмута, который размещен под основанием и у боковых граней детектора и простирается вверх практически до самой кодирующей маски.

элементов и обеспечивает регистрацию высокоэнергичных гамма-квантов.

Монитор рентгеновских лучей JEM-X (Joint European X-ray Monitor) играет важную роль в отождествлении гамма-источников. Он состоит из двух модулей и позволяет проводить наблюдения синхронно с другими приборами в диапазоне энергий от 3 до 35 кэВ. В мониторе JEM-X (как и в IBIS и в SPI) использован метод кодирующей апертуры: две маски размещены на высоте 3.2 м над плоскостью детектора, которым является газовый микростриповый счетчик, состоящий из двух идентичных газовых камер, заполненных смесью ксенона и метана под давлением 1.5 бар.

Оптический монитор OMC автоматически проводит синхронный мониторинг оптического излучения, исходящего от астрофизических источников гамма- и



Гамма-телескоп IBIS (Imager on Board the INTEGRAL Satellite) позволяет получать гамма-изображения с более высоким угловым разрешением, нежели любые предшествующие приборы, и обеспечивает локализацию источника излучения с точностью до 30 угловых секунд в энергетическом диапазоне от 15 кэВ до 10 МэВ. Он состоит из детектора и вольфрамовой кодирующей маски, которая поднята над детектором на 3.2 метра. В детекторе используется два слоя чувствительных элементов: верхний слой, включающий в себя 16384 кадмий-теллуриевых (Cd-Te) элемента, позволяет обнаруживать низкоэнергичные гамма-лучи, второй слой состоит из 4096 цезий-йодных (CsI)

рентгеновского излучения, что особенно важно, поскольку такие объекты обычно обладают очень быстрой переменностью. Монитор способен регистрировать объекты с яркостью до 18.2 звездной величины при экспозиции в несколько тысяч секунд и представляет собой классический телескоп-рефрактор; приемником излучения является расположенная в фокальной плоскости ПЗС-матрица.

В качестве средства выведения на орбиту обсерватории ИНТЕГРАЛ был выбран российский носитель ПРОТОН Федерального Государственного Космического Центра имени Хруничева с разгонным блоком ДМ Ракетно-Космической Корпорации "Энергия". Такой выбор был обусловлен прежде всего тем, что этот носитель полностью обеспечивал выполнение всех требований по формированию рабочей орбиты при заданной массе космического аппарата (около 4000 кг), будучи наиболее надежным в мире средством выведения аппаратов в космос. Трехступенчатая ракета-носитель ПРОТОН была использована для строительства орбитальных станций, начиная с "Салюта", далее для вывода на орбиту модулей "Мира", а в последние годы – модулей Международной Космической Станции, которая была построена в основном при помощи ПРОТОНов. Четвертая ступень – разгонный блок ДМ – в своем первоначальном варианте был разработан РКК "Энергия" в рамках советской программы полета человека на Луну. Его предполагалось использовать в качестве ступени для перевода космического аппарата с перелетной орбиты на орбиту спутника Луны и старта с окололунной орбиты к Земле. Однако в дальнейшем эта ступень нашла применение в качестве разгонного блока в программах запусков космических аппаратов для исследования Луны и планет, для выведения спутников на геостационарную орбиту в интересах решения задач связи и телевидения, а также для запуска на высокоапогейные орбиты аппаратов научного назначения (орбитальные обсерватории АСТРОН, ГРАНАТ). Возможности носителя ПРОТОН с блоком ДМ по массе выводимого на рабочую орбиту аппарата заметно превышают требования со стороны обсерватории ИНТЕГРАЛ. В этой связи имеющийся запас по выводимой массе было решено использовать для повышения надежности запуска, приняв схему с одним включением блока ДМ. Кроме того, принятая применительно к обсерватории ИНТЕГРАЛ схема ее выведения на орбиту позволила свести к минимуму ограничения на окна запуска аппарата как по датам в течение года, так и по времени суток.

Старт ракеты-носителя ПРОТОН с разгонным блоком ДМ-3 и обсерваторией ИНТЕГРАЛ в качестве полезной нагрузки состоялся 17 октября 2002 года в 4 часа 41 минуту по Гринвичу с космодрома Байконур. Выведение обсерватории на промежуточную высокоэллиптическую орбиту было выполнено с точностями много лучше (более, чем на порядок) гарантированных величин, что позволило значительно сократить расходы топлива при формировании окончательной орбиты двигателями космического аппарата и, с учетом оптимизации процедур управления ориентацией, дало возможность увеличить операционное время жизни обсерватории по запасам рабочего тела с 5,2 до 15 лет. Конечная орбита ИНТЕГРАЛа имеет перигей 9300 км, апогей 153000 км и период обращения 72 часа. Столь вытянутая орбита позволяет проводить со спутника практически непрерывные наблюдения (85% времени) в условиях стабильного фона вне радиационных поясов Земли.





Launch

To launch the INTEGRAL observatory the PROTON launcher of Khruichev Federal Space Center with the fourth stage DM of Rocket-Space Corporation ENERGIYA was chosen. Such a choice was motivated by the capability of PROTON-DM to provide required parameters of the orbit for given mass of the satellite (about 4000 kg) and by its reputation of the most reliable heavy launcher in the world. The three-stage rocket launcher PROTON has been used to build space stations starting from SALYUT, then for the construction of the MIR station, and in the last years for the construction of the International Space Station.

The fourth stage – block DM – was originally designed by ENERGIYA in the framework of the Soviet Moon space program. It had been supposed to be used as a stage for bringing the spacecraft from an intermediate orbit into a Moon satellite orbit and launching from the near-Moon orbit to Earth. However, later this stage has been used as a fourth block to launch spacecraft to study the Moon and planets, to launch communication satellites into geostationary orbit, as well as to launch scientific spacecrafts into high-apogee orbits (Soviet orbital observatories ASTRON, GRANAT). The abilities of PROTON-DM greatly exceeded those needed to launch a satellite as massive as INTEGRAL into a working orbit. So the decision was taken to increase the launch reliability by accepting the scheme with single switch of the DM block. In addition, the INTEGRAL launch scheme imposed minimum constraints on the launch dates and time.

The PROTON rocket with fourth stage DM-3 and the INTEGRAL observatory as the payload was launched on October 17, 2002 4h 41m UT from the Baikonur cosmodrome. The launch of the observatory into the intermediate eccentric orbit was performed with an accuracy much better (by more than an order of magnitude) than was guaranteed. This allowed to significantly reduce the fuel consumption when forming the final orbit by the spacecraft engines. The optimization of the orientation manoeuvring resulted in increase of the operational time of the observatory from 5.2 to 15 years. The final orbit of INTEGRAL has a perigee of 9300 km, the apogee 153000 km, and the orbital period 72 hours. Such an eccentric orbit allows almost continuous observations (85 % of time) with stable background conditions outside the radiation belts of the Earth.

Состояние обсерватории

Орбитальное и наземное обеспечение обсерватории ИНТЕГРАЛ работает в нормальном режиме с самого начала миссии. Несмотря на небольшие проблемы в начале работы, операции по наведению обсерватории проводятся с большой эффективностью. Например, за первый год работы 93.7% операций по перенаведению проведены успешно. Единственное большое изменение в работе служб обеспечения коснулось наземного сектора, который стал обеспечивать прием на 25% большего объема данных с обсерватории. Такое увеличение телеметрии было признано необходимым для того, чтобы обеспечить полную функциональность приборов ИНТЕГРАЛа.

Работа обслуживающей электроники обсерватории остается хорошей, и за все время работы спутник не показал каких-либо аномалий, с которыми нельзя было бы справиться усилиями наземных групп. Для исправления обнаруженных сложностей за время работы спутника в орбитальное программное обеспечение было внесено 5 изменений. Все системы модуля обеспечения обсерватории продолжают работать в номинальном режиме без каких-либо отказов. Солнечные батареи спутника работают на полную мощность, каких-либо признаков деградации не обнаружено.

За первый год работы обсерватории спутник дважды входил в зону солнечного затмения. В зимний период это было в орбитах с 26-ой по 35-ую, в летний период – с 84-ой по 92-ую. Все системы после выхода из затмения работали без нареканий. Разрядка батарей за время отсутствия тока с солнечных панелей составила 21.5% и 27.29%, соответственно.

За первый год обсерватория использовала 366.9 кг топлива из начального запаса 541.9 кг. Основная масса использованного топлива была потрачена на начальную коррекцию орбиты. После окончания этих

маневров количество топлива составило 181.9 кг. Средняя скорость его потребления с тех пор составляет приблизительно 0.7 кг в месяц и в настоящее время остаток составляет более 170 кг, что дает возможность использовать топливо еще на 15 лет наблюдений.

Основным калибровочным источником для приборов обсерватории ИНТЕГРАЛ, кроме бортовых радиоактивных элементов, является Крабовидная туманность – остаток вспышки сверхновой 1054 г. с ярким пульсаром. Спектр Крабовидной туманности имеет вид степенной зависимости потока фотонов от их энергии и практически не меняется со временем. Наблюдения Крабовидной туманности проводились обсерваторией ИНТЕГРАЛ в феврале и августе 2003 г. и в январе 2004 г. Планируется, что такие наблюдения будут проводиться каждые полгода для проверки работы инструментов.

Из-за деградации германиевых детекторов спектрометра SPI под воздействием высокоэнергичных частиц необходимо время от времени, приблизительно раз в полгода, нагревать кристаллы для восстановления их изначальной структуры. Первый нагрев был проведен 6-13 февраля 2003 г., второй 18-24 июля 2003 г., третий – 10-26 ноября 2003 г. Энергетическое разрешение детекторов SPI было возвращено практически к исходному значению.

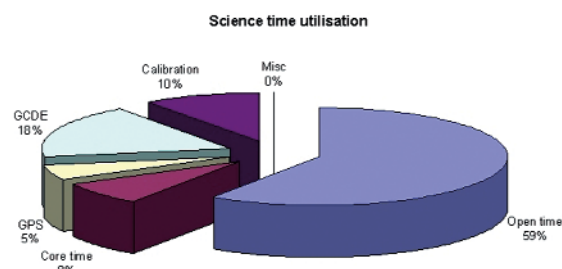
6 декабря 2003 года один из 19 детекторов SPI перестал функционировать. Неоднократные попытки восстановить его работу, проведенные специалистами из Европейского космического агентства, не увенчались успехом. Потеря одного детектора в дальнейшем привела к небольшому ухудшению чувствительности спектрометра.

(Использована информация, предоставленная ЕКА)

Первый Цикл наблюдений обсерватории (АО-1)

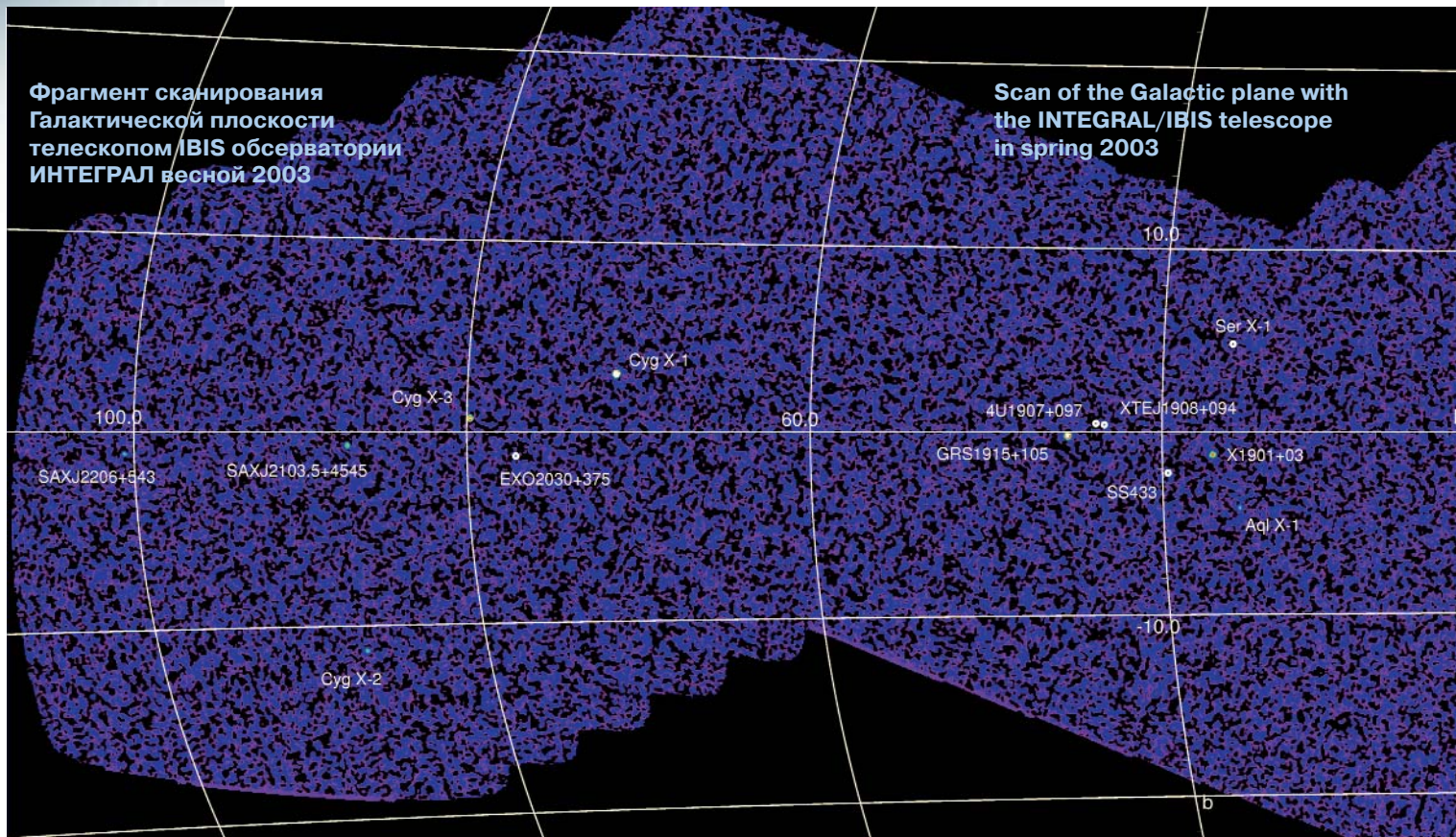
Наблюдательное время обсерватории делится на две части: Общую программу, составляемую по заявкам ученых, которые были одобрены Программными Комитетами, и Основную программу, время которой зарезервировано для научного консорциума, внесшего наибольший вклад в создание обсерватории ИНТЕГРАЛ – Международной рабочей группы обсерватории ИНТЕГРАЛ (INTEGRAL Science Working Team), в которую входят представители инструментальных команд. Российские ученые также имеют своих представителей в этой рабочей группе. Ключевыми элементами Основной программы являются периодический (приблизительно раз в четыре орбиты) обзор Галактической плоскости, состоящий из определенной последовательности нескольких точечных наведений, и наблюдение центрального радиана Галактики с большой экспозицией.

На диаграмме схематически представлено распределение времени наблюдений обсерватории



Предоставлено ЕКА

Courtesy of ESA



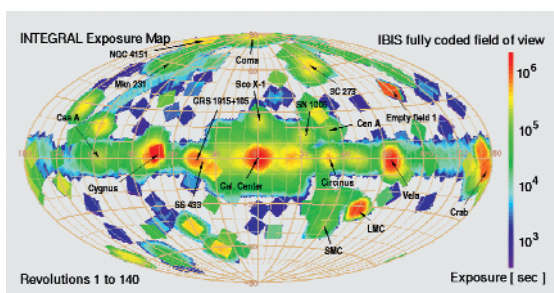
ИНТЕГРАЛ по различным программам за период с 30 декабря 2002 г по 7 октября 2003 г. Полное время, которое можно было использовать для научных наблюдений в этот период составило порядка 20.7 миллионов секунд, из которых в действительности было проведено 19.7 миллионов секунд наблюдений.

В рамках Общей программы первого года работы обсерватории российские ученые получили около 4.6 миллионов секунд наблюдений различных рентгеновских источников. Среди них такие, как скопление галактик в созвездии Волосы Вероники, двойная система на стадии сверхкритической аккреции SS433, рентгеновский барстер Aql X-1, остаток вспышки сверхновой IC443, область Галактического Центра, рентгеновский пульсар LMC X-4 в галактике Большое Магелланово Облако.

The First Observation Cycle (AO-1)

The INTEGRAL observing time consists of two parts, the General Programme and the Core Programme. The General Programme is made up of approved proposals from individual scientists. The Core Programme is reserved for the INTEGRAL Science Working Team, which comprises representatives of the instrumental teams. The Russian Academy of Sciences also has its representatives in this group. The prime components of the Core Programme are regular surveys of the Galactic plane and deep exposure of the Galactic center.

The sketch below illustrates the distribution of the INTEGRAL observing time between the programmes for the period from Dec. 20, 2002 to Oct. 7, 2003. An integrated exposure of 19.7 Ms was allocated for observations. The cumulative exposure map over the period since the launch till the 140th orbit is also presented below.



Предоставлено ISDC

Courtesy of ISDC

Russian scientists were granted 4.6 Ms of observations during the AO-1 General Programme. The observation targets included the Coma cluster, the supercritically accreting source SS433, the X-ray burster Aql X-1, the supernova remnant IC443, the Galactic center region, and the X-ray pulsar LMC X-4.

Российский Центр Научных Данных (РЦНД) обсерватории ИНТЕГРАЛ

ИНТЕГРАЛ является первой российской национальной обсерваторией. Это значит, что любой ученый 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 обработки и анализа. При этом ученый обладает исключительным правом на проведение анализа данных наблюдений и публикацию всех полученных научных результатов в течение года с момента поступления данных. По прошествии года данные станут доступными для всех.

Все научные данные, полученные в рамках российской квоты наблюдательного времени, поступают в международный центр научных данных обсерватории ИНТЕГРАЛ (ISDC), а затем становятся доступными для российских ученых через Российский Центр Научных Данных (РЦНД) обсерватории ИНТЕГРАЛ, организованный в Институте Космических Исследований РАН. Основными задачами РЦНД являются:

- обеспечение российских ученых результатами наземных и полетных калибровок;
- получение, первичная обработка и архивирование данных проекта ИНТЕГРАЛ, полученных в рамках российской квоты, а также всех открытых данных проекта;
- оперативное предоставление российским ученым данных наблюдений обсерватории ИНТЕГРАЛ и программно-математического обеспечения, необходимого для их обработки;
- проведение необходимой консультационной работы по поддержке российских ученых при обработке и анализе ими научных данных, полученных обсерваторией.



Благодаря выделенному Академией Наук в 2002 г. целевому финансированию в РЦНД установлено и опробовано самое современное оборудование. Дисковая память объемом 1.6 терабайта в действии и дает возможность ученым из институтов Академии Наук, университетов и других научных учреждений пользоваться российской квотой данных в оперативном режиме. К настоящему моменту большая часть архива уже заполнена и сейчас ведутся работы по его расширению. В РЦНД создан терминальный класс, в котором любой российский ученый может приобрести опыт работы с данными обсерватории. РЦНД активно сотрудничает с ведущими

российскими институтами, университетами и обсерваториями, такими как Государственный астрономический институт им. Штернберга МГУ,



Физико-технический институт им. Иоффе, Казанский государственный университет, Главная астрономическая обсерватория РАН, Московский физико-технический институт, Московский инженерно-физический институт и т.д.

Прошедший год показал, что Российский Центр Научных Данных успешно справляется с поставленной задачей. Данные оперативно поступают в архив и российские ученые имеют возможность обрабатывать их практически в реальном времени. Благодаря такой оперативности российские ученые открыли ряд новых рентгеновских источников (транзиентов).



Russian Science Data Center for INTEGRAL

INTEGRAL is the first Russian national observatory. This means that any scientist from a Russian institution can submit a proposal for observations which will be considered by the Russian and then by international Time Allocating Committees. Should the proposal be approved, the scientist acquires the exclusive right to analyze the data and publish the results during one year upon data receipt. After that period the data become publicly available. All data belonging to the Russian quota of observing time have been accumulated at the Russian Science Data Center (RSDC) set up at the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. The main tasks of the RSDC are

- providing Russian scientists with results of laboratory and in-flight instrument calibrations;
- accumulation, primary processing and archiving of the INTEGRAL data from the Russian quota as well as all open data from the mission;
- rapid delivery of data and necessary software to Russian scientists;
- help desk scientists for analyzing data.

Thanks to financial support received in 2002 from RAS, modern equipment has been installed and made operational at RSDC. A substantial fraction of the available 1.6-terabyte hard disk memory has already been filled and work is in progress to increase the capacity. RSDC has a terminal room where any Russian scientist can get familiar with analysis of the INTEGRAL data. RSDC collaborates closely with leading astrophysical institutions such as Sternberg Astronomical Institute of Moscow University, St.Petersburg Ioffe Institute for Physics and Technology, Kazan State University, Main Astronomical Observatory, Moscow Institute for Physics and Technology, Moscow Institute for Engineering and Physics, etc.

Thanks to the nearly real time access to the INTEGRAL data provided by RSDC during the first year of observations, Russian scientists discovered several new transient X-ray sources and obtained other important results.

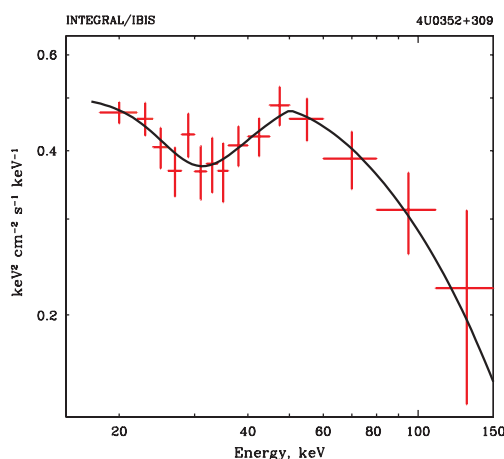


Первые научные результаты

Рентгеновские пульсары

Рентгеновские пульсары – аккрецирующие вращающиеся нейтронные звезды с сильным магнитным полем – представляют особый интерес в жестком рентгеновском диапазоне. Это связано с тем, что нейтронные звезды в таких системах имеют настолько большие магнитные поля ($\sim 10^{12}$ - 10^{13} Гаусс), что циклотронная линия поглощения в излучаемом спектре может появляться лишь на энергиях выше 10-20 кэВ. Таким образом, изучение спектров рентгеновских пульсаров на высоких энергиях (диапазон обсерватории ИНТЕГРАЛ) дает уникальную возможность измерять сверхсильные магнитные поля

нейтронных звезд. Исследования спектров рентгеновских пульсаров 4U0352+309 и LMC X-4, проведенные российскими учеными, позволили впервые получить спектры их жесткого рентгеновского излучения с большой точностью, а в случае системы 4U0352+309/X Persei – измерить величину магнитного поля на поверхности нейтронной звезды в этой системе – 3.3×10^{12} Гаусс.



Энергетический спектр пульсара 4U0352+309 в созвездии Персея, полученный с помощью телескопа IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ. Широкий провал в области 30 кэВ связан с резонансным циклотронным поглощением.

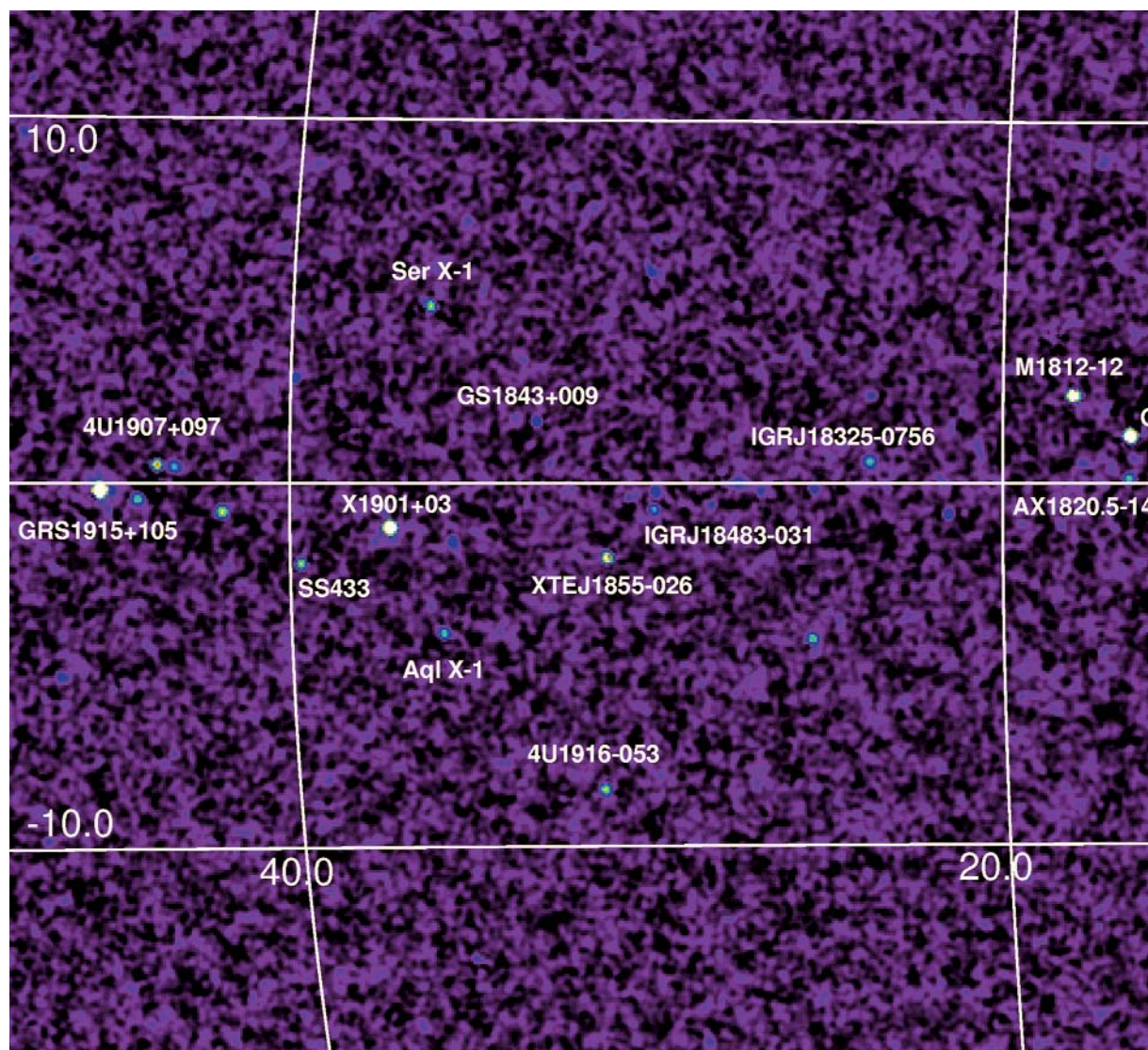
Energy spectrum of the pulsar 4U0352+309, obtained with the INTEGRAL/IBIS telescope. The broad feature near 30 keV is due to resonance cyclotron scattering.



X-ray Pulsars

X-ray pulsars are particularly interesting objects for hard X-ray observations. Measurement of cyclotron lines at energies above 10-20 keV enables us to study the ultrastrong magnetic fields of the neutron stars in these systems. Russian scientists obtained high-quality energy spectra of the X-ray pulsars 4U 0352+309 and LMC X-4, and measured the magnetic field (3.3×10^{12} Gauss) in the source 4U 0352+309/X Per.

Обзор Центра Галактики и области спирального рукава в созвездии Стрельца



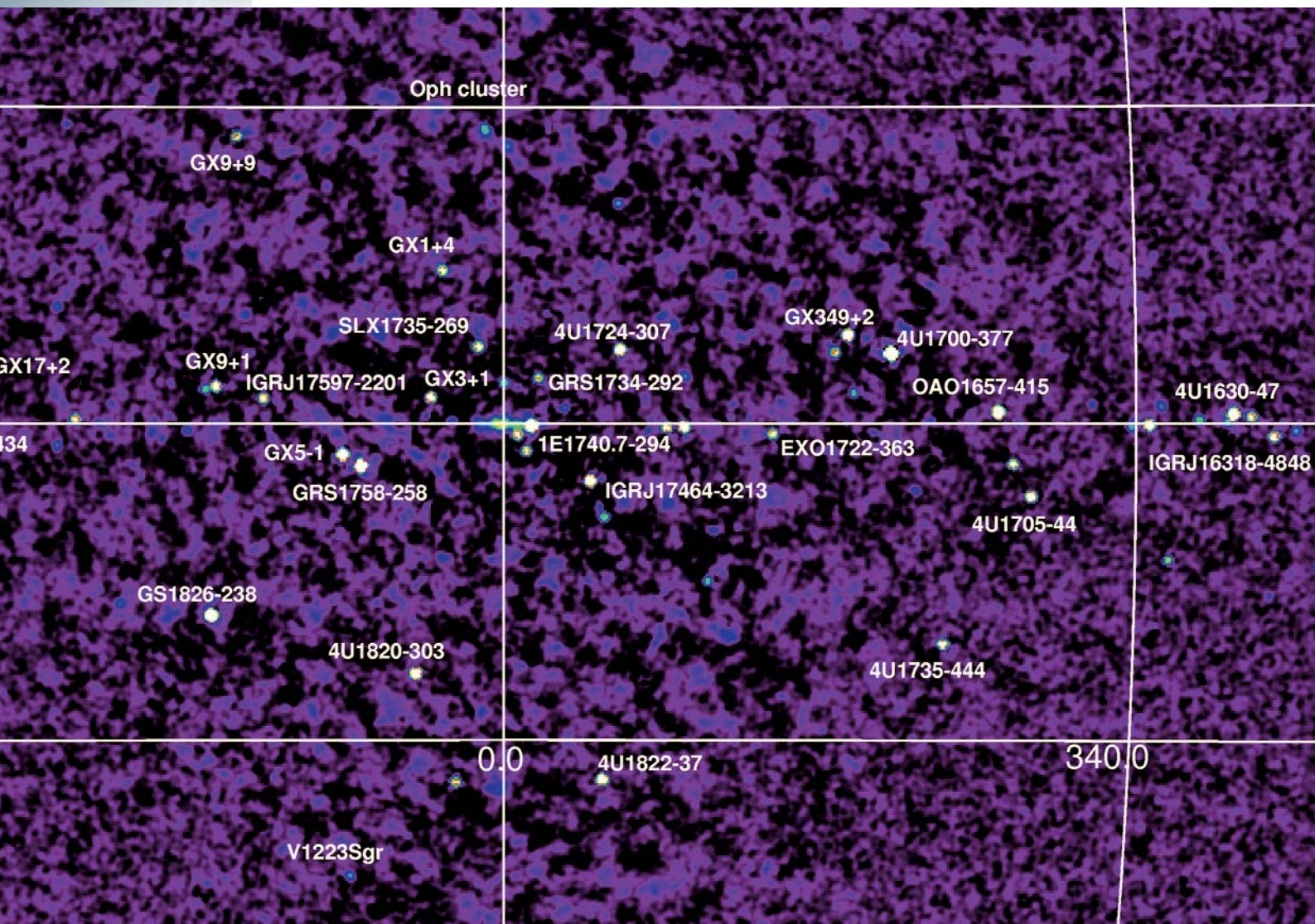
Одной из важнейших заявок, поданных российскими учеными в рамках Общей программы первого года обсерватории ИНТЕГРАЛ и выигравших международный отборочный конкурс, является глубокое наблюдение поля Галактического Центра. Интерес российских ученых к этому полю не ослабевает с тех пор, как в нем был сделан большой ряд открытий при помощи советских орбитальных обсерваторий РЕНТГЕН (модуль КВАНТ орбитальной станции МИР) и ГРАНАТ. Это поле содержит значительное количество Галактических рентгеновских источников: двойных систем с черными дырами и нейтронными звездами, одиночных нейтронных звезд, а также несколько внегалактических источников: Активных Ядер Галактик (АЯГ), скоплений галактик и блазаров.

Наблюдения, проведенные обсерваторией ИНТЕГРАЛ в августе-сентябре 2003 г., подтвердили эти ожидания. Анализ полученных данных, проведенный российскими учеными, позволил статистически достоверно зарегистрировать 60 источников в исследуемом поле и опубликовать первую карту глубокого обзора области

Галактического центра в жестких рентгеновских лучах (20-100 кэВ). Чувствительность опубликованного обзора значительно превосходит все предыдущие карты в этом энергетическом диапазоне. Отметим, что в области Галактического Центра большую часть из зарегистрированных двойных систем составляют системы с маломассивным оптическим компонентом. Это – старое население нашей Галактики.

Кроме области Галактического Центра данные, полученные в рамках заявок первого года наблюдений обсерватории ИНТЕГРАЛ, позволили российским ученым провести глубокий обзор области касательной к спиральному рукаву в созвездии Стрельца (Sagittarius Arm Tangent), также богатого рентгеновскими источниками разной природы. В ходе проведенных наблюдений в данной области было зарегистрировано 28 источников рентгеновского и гамма излучения, открыто 7 новых источников.

Большая часть из обнаруженных источников была идентифицирована как двойные системы с компактными объектами – черными дырами и нейтронными звездами. Очень важным



обстоятельством является то, что разные двойные системы в исследованных областях находятся в различных состояниях (например, имеют разные темпы аккреции вещества на поверхность компактного объекта, и, следовательно, разную светимость) и это позволяет изучать как отдельные объекты так и зависимость поведения класса объектов от изменения параметров аккреции вещества в них.

В настоящее время продолжается интенсивный анализ данных этих наблюдений.

Surveys of the Galactic Center and Sagittarius Spiral Arm

Deep survey of the Galactic center field is one of the most significant proposals of Russian scientists approved for AO-1 observations. Soviet X-ray missions Mir-Kvant and GRANAT showed that this field contains a large number of galactic X-ray sources (black-hole and neutron-star binaries) as well few extragalactic sources (AGNs, blazars and clusters of galaxies).

During the INTEGRAL observations in August-September 2003, Russian scientists detected 60 sources in the Galactic center region and published the first high-quality map of the Galactic center region in hard X-rays (20-100 keV) ever constructed. Most of the detected sources are low-mass X-ray binaries representing the old population of the Galaxy.

A similarly deep survey was taken of the Sagittarius Arm Tangent, a region with a high concentration of X-ray source. A total of 28 X-ray and gamma-ray sources have been detected including a few newly discovered ones. Most of the new sources proved to be X-ray binaries. The detection of the different sources in different states of accretion onto the compact object provides an exciting possibility of studying the dependence of classes of objects on the parameters of accretion.

Analysis of the deep surveys is continuing.

Скопление галактик в созвездии Волосы Вероники

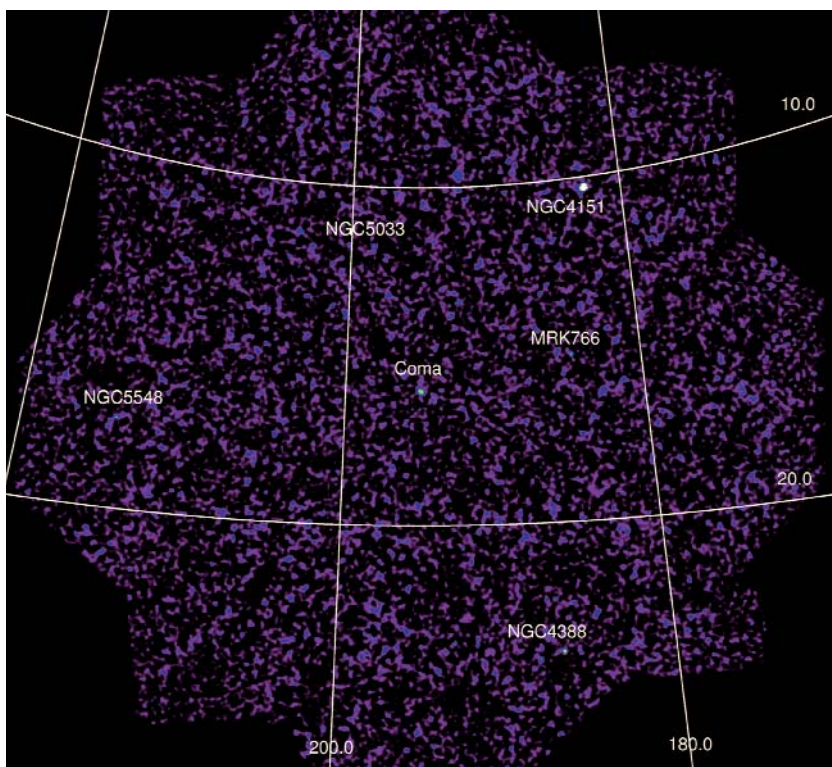
В течение первого цикла обсерваторией ИНТЕГРАЛ было проведено наблюдение близкого скопления галактик в созвездии Волосы Вероники. Благодаря своей высокой чувствительности детектор ISGRI телескопа IBIS способен регистрировать как высокоэнергетический хвост теплового излучения межгалактической плазмы в диапазоне 20–40 кэВ, так и обратное комптоновское излучение от релятивистских электронов, также заполняющих объем скопления. Скопление в созвездии Волосы Вероники обладает ярким, хорошо изученным диффузным радиоизлучением, порождаемым синхротронным излучением релятивистских электронов. Если напряженность межгалактического магнитного поля составляет меньше 0.1 мкГс , то наблюдаемая радиояркость может обеспечиваться лишь за счет очень высокой плотности электронов, которые должны при этом генерировать мощное обратное комптоновское излучение на уровне, заведомо превышающем чувствительность прибора ISGRI в диапазоне 40–100 кэВ. Хотя тепловой хвост излучения межгалактической плазмы легко регистрируется обсерваторией ИНТЕГРАЛ, на энергиях выше 40 кэВ удалось лишь установить верхний предел на интенсивность компоненты обратного комптоновского излучения, который эквивалентен нижнему пределу на величину межгалактического магнитного поля $B > 0.1 \text{ мкГс}$.

Наблюдение скопления в созвездии Волосы Вероники – самое глубокое наведение обсерватории ИНТЕГРАЛ в область, удаленную от плоскости Галактики, поэтому полученное изображение можно использовать для построения кривой подсчетов внегалактических объектов на высоких энергиях. На изображении помимо самого скопления действительно видны 5 внегалактических объектов. Достигнутая чувствительность в диапазоне 17–50 кэВ составляет примерно 1 милли Краб, что более чем в 20 раз улучшает предел регистрации по потоку, достигнутый во внегалактическом обзоре, выполненном на приборе A4 обсерватории HEAO-1 более 20 лет назад.

The Coma Cluster

The Coma cluster, the nearest rich cluster of galaxies, was observed by INTEGRAL during the first observation cycle. The strong diffuse radio emission observed from this cluster is believed to be synchrotron radiation emitted by a population of relativistic electrons permeating the cluster. It is predicted that inverse Compton scattering from these electrons should also produce hard X-ray emission which could be observable at photon energies above 20 keV. The fact that INTEGRAL did not detect a significant excess flux above the emission produced by the dominant optically thin thermal component of the intracluster gas implies that the characteristic magnetic field is larger than $0.1 \mu\text{ Gauss}$.

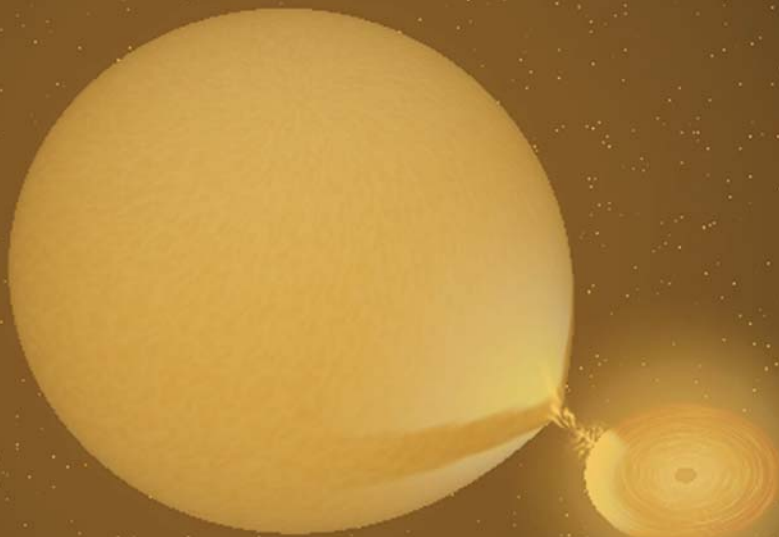
The observation of the Coma is in fact the deepest one taken by INTEGRAL away from the Galactic plane. Therefore, five extragalactic sources detected in the Coma field can be used to build a number-flux distribution in hard X-rays. The achieved flux threshold of 1 mCrab represents a 20-fold improvement in sensitivity relative to the previously best HEAO-1/A4 survey.



Изображение области неба вокруг скопления галактик в созвездии Волосы Вероники в диапазоне энергий 17–50 кэВ

A sky image around the Coma cluster in the energy band 17–50 keV.

IGR J16318-4848



Как и ожидалось, сканирования Галактической плоскости телескопами обсерватории ИНТЕГРАЛ практически сразу же принесли интересные результаты.

Уже в январе 2003 года ИНТЕГРАЛ обнаружил новый источник гамма-излучения, названный IGR J16318-4848, оказавшийся уникальным. Анализ данных, полученных из наблюдений этого источника обсерваториями XMM-Newton и ASCA показал, что он обладает большим внутренним фотопоглощением и очень слабо излучает на энергиях меньше ~10 кэВ, что практически исключало возможность его обнаружения в стандартном рентгеновском диапазоне, т.е. без инструментов обсерватории ИНТЕГРАЛ. Дальнейший анализ данных, полученных по этому источнику, позволил российским ученым сделать вывод, что IGR J16318-4848 является массивной двойной системой, в которой компактный источник окружен плотным и холодным веществом, поступающим из ветра, истекающего со звезды-компаньона.

Впоследствии в этой же области Галактики (область, где проходит касательная к спиральному рукаву в созвездии Наугольника, Norma Arm tangent) обсерваторией ИНТЕГРАЛ было обнаружено еще несколько сильнопоглощенных источников. Такая большая концентрация поглощенных источников в области спирального рукава в созвездии Наугольника, по-видимому, связана с тем, что в этой области происходит интенсивное звездообразование, что приводит к появлению большого количества молодых горячих звезд большой массы, обладающих сильным звездным ветром. Таким образом, открытие нового источника IGR J16318-4848 позволило обнаружить ранее неизвестный класс Галактических объектов с сильным поглощением сродни активным ядрам Сейфертовских галактик второго типа.

IGR J16318-4848

A number of interesting results were obtained during the scans of the Galactic plane.

In January 2003, INTEGRAL discovered a unique gamma-ray source, which was named IGR J16318-4848. Follow-up observations with the X-ray observatory XMM-Newton and analysis of the archival data of ASCA observatory showed that the X-ray source is strongly absorbed at photon energies several keV. Russian scientists concluded that IGR J16318-4848 is likely massive binary system in which the compact object (a neutron star or a black hole) is surrounded by the dense, cold wind from the optical companion. Subsequent observations with INTEGRAL have revealed

several strongly absorbed X-ray sources in the same region of the Galaxy, the Norma Arm Tangent. This is indicative of intensive star formation occurring in this region, which produces a large number of young, hot stars of large mass and strong stellar winds. INTEGRAL has thus revealed a new class of X-ray source, akin to Seyfert 2 galaxies. Such strongly absorbed sources were missed by the previous X-ray observatories operating at lower energies.

В области касательной к спиральному рукаву в созвездии Стрельца находится уникальная двойная система SS433 – галактический микроквазар с прецессирующими джетами (струями вещества, истекающими от черной дыры в двух диаметрально противоположных направлениях) и сверхкритическим аккреционным диском. Этот источник наблюдался обсерваторией ИНТЕГРАЛ в рамках Открытой программы АО-1 в мае 2003 года (орбиты 67-70, время экспозиции 500 ксек). Одновременно с наблюдениями ИНТЕГРАЛа были организованы наземные оптические (Крымская лаборатория ГАИШ, САО РАН, РТТ-150 Турция) и радио (радиотелескоп РАТАН-600) наблюдения. Даты наблюдений были подобраны так, чтобы объект находился в прецессионной фазе с максимальным раскрытием аккреционного диска и направлением джета на наблюдателя. Анализ проведенных наблюдений позволил получить следующие результаты.

Телескопом IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ впервые надежно измерен рентгеновский спектр объекта до энергий 100 кэВ. Спектр описывается излучением оптически тонкой плазмы с температурой $kT \sim 20$ кэВ.

В жестких рентгеновских диапазонах 25-50 и 50-100 кэВ впервые измерены рентгеновские затмения источника и построена модель излучающей области, состоящей из протяженного джета, затмеваемого краем толстого аккреционного диска и оптической звездой, заполняющей полость Роша. Ширина и глубина рентгеновского затмения позволяет сделать вывод об отношении масс компонент системы $q = M_X / M_V \sim 0.3$.

Одновременные спектроскопические наблюдения со спектральным разрешением ~ 2000 позволили уверенно отождествить линии поглощения в спектре оптической звезды и определить ее спектральный класс как A5-A7I с температурой непрогретой области порядка 8000 К. По изменению линий поглощения ионов с разными потенциалами возбуждения в различных орбитальных фазах впервые обнаружен эффект прогрева оптической звезды в системе SS433. По абсорбционным линиям в спектре оптической звезды измерена полуамплитуда ее кривой лучевых скоростей $K_V = 132 \pm 15$ км/с. С учетом искажения кривой лучевых скоростей из-за эффекта прогрева оптической звезды и отношения масс компонент $q=0.3$, выведенного из формы рентгеновского затмения, получены ограничения на массы оптической звезды $M_V \sim 30 M_\odot$ и невидимого компактного объекта $M_X \sim 9 M_\odot$.

Эти наблюдения подтверждают интерпретацию уникальной двойной системы SS433 как массивной двойной системы с черной дырой, находящейся на стадии сверхкритической аккреции.

SS433

SS433 is a Galactic microquasar with precessing jets and a precessing accretion disk. This source was observed by INTEGRAL in May 2003 with a 500 ks exposure. Contemporaneous optical (Crimean laboratory of SAI, SAO, RTT-150 Turkey) and radio (RATAN-600) observations were organized. The observations had been planned to coincide with the specific phase when the jet is pointing toward the observer. The following results were obtained.

SS433 was detected for the first time up to 100 keV (with IBIS). The spectrum is well described by optically thin plasma emission with temperature $kT \sim 20$ keV.

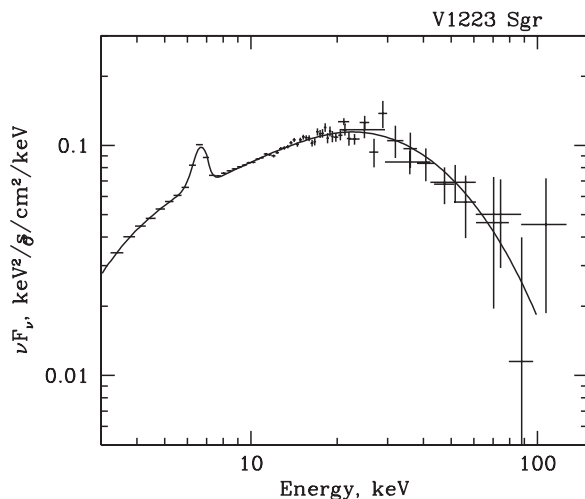
Eclipses were observed for the first time in the hard X-ray band 25-100 keV. A model of the emitting region was proposed which consists of an extended thick jet eclipsed by the outer rim of a thick accretion disk and by the optical star filling its critical Roche lobe. The duration and depth of the eclipse enabled one to estimate the mass ratio of the binary components $q = M_X / M_V \sim 0.3$.

Optical spectroscopy with resolution of $\lambda/\Delta\lambda \sim 2000$ led to the determination of the spectral class of the optical star as A5-A7I with the temperature of the unheated region of 8000 K. Detection of absorption lines in different orbital phases revealed for the first time the X-ray heating of the optical star and enabled the reliable measurement of its radial velocity ($K_V = 132 \pm 15$ km/s). The observational facts taken together led to the estimation of masses of the optical star ($M_V \sim 30 M_\odot$) and the compact object ($M_X \sim 9 M_\odot$).

These observations clearly support the picture in which SS433 is a massive binary with a supercritically accreting black hole.

Промежуточный поляр V1223 Sgr

Поляры и промежуточные поляры являются аккрецирующими тесными двойными системами с белыми карликами. Несмотря на то, что радиус белых карликов значительно больше радиуса нейтронных звезд (при сравнимой массе), и, соответственно, эффективность выделения энергии при аккреции у этих систем значительно меньше чем у нейтронных звезд, поляры являются довольно яркими источниками рентгеновского излучения. Полная светимость поляр, конечно, значительно меньше таковой от двойных систем с аккрецирующими нейтронными звездами и черными дырами ($\sim 10^{33} - 10^{34}$ эрг/с у поляр по сравнению с $\sim 10^{36} - 10^{38}$ эрг/с у нейтронных звезд и черных дыр звездной массы), однако поляр и промежуточные поляры гораздо больше чем рентгеновских двойных систем с нейтронными звездами и черными дырами. В частности, известно несколько десятков поляр в пределах ~ 700 пк от Солнца.



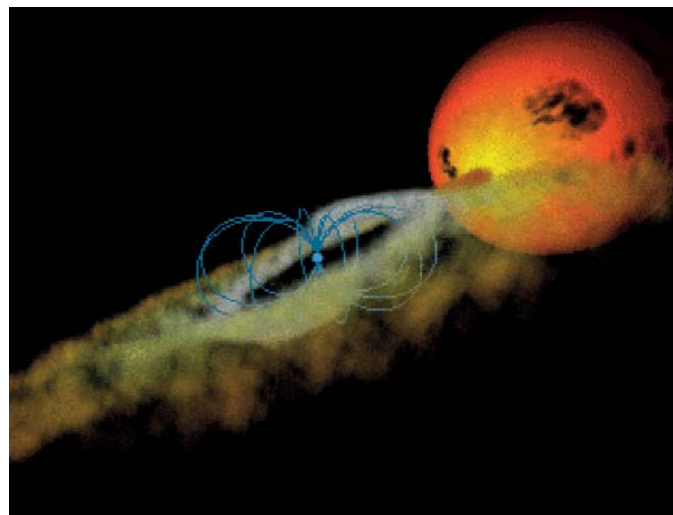
Энергетический спектр промежуточного поляра V1223 Sgr по данным обсерваторий INTEGRAL и RXTE

Energy spectrum of the intermediate polar V1223 Sgr from INTEGRAL and RXTE data

Вещество (плазма), перетекающее с оптической звезды-компонента на поверхность белого карлика, в зависимости от величины магнитного поля карлика либо сразу вмораживается в его магнитное поле (поляр; $B > 10^7$ Гаусс) и попадает непосредственно на поверхность белого карлика практически по баллистической траектории, либо сначала формирует небольшой аккреционный диск, который при приближении к белому карлику разрушается его магнитным полем (промежуточный поляр; $B \sim 10^6$ Гаусс). У поверхности белого карлика формируется сильная стоячая ударная волна, в которой падающая плазма разогревается до рентгеновских температур ($\sim 10-20$ кэВ $\sim 10^8$ К) и излучает жесткий спектр.

В области Галактического Центра, наблюдавшейся обсерваторией INTEGRAL в августе-сентябре 2003 года находится один из самых ярких промежуточных поляр V1223 Sgr. Несмотря на то, что он наблюдался практически на краю поля зрения

основных телескопов обсерватории удалось восстановить его спектр вплоть до энергий порядка 100 кэВ. Измерения спектра поляр, именно на таких энергиях очень важны, так как они позволяют уверенно оценивать массу белого карлика, что иногда трудно сделать из оптических наблюдений. Масса белого карлика может быть определена по величине максимальной температуры в ударной волне. Для наблюдавшегося источника V1223 Sgr измеренное значение массы составило 0.7-0.9 масс Солнца.



Intermediate Polar V1223 Sgr

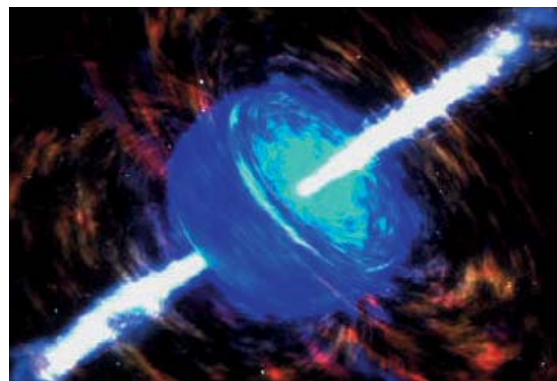
Polars and intermediate polars are accreting binary systems with a white dwarf. Despite the larger radii and less efficient accretion compared to neutron star binaries, polars are relatively bright X-ray sources. With typical luminosities $\sim 10^{33} - 10^{34}$ erg/s polars and intermediate polars are much more abundant than neutron-star and black-hole X-ray binaries with luminosities $\sim 10^{36} - 10^{38}$ erg/s. In particular, several tens polars are known only within ~ 700 pc from the Sun.

The material flowing from the optical star onto the white dwarf either freezes into the magnetic field (polar; $B > 10^7$ Gauss) and falls ballistically onto the dwarf surface, or forms an accretion disk which is disrupted by the magnetic field near the surface (intermediate polar; $B \sim 10^6$ Gauss). Near the white dwarf surface a shock is formed in which the plasma is heated to high temperatures ($\sim 10-20$ keV $\sim 10^8$ K) and emits hard X-ray radiation.

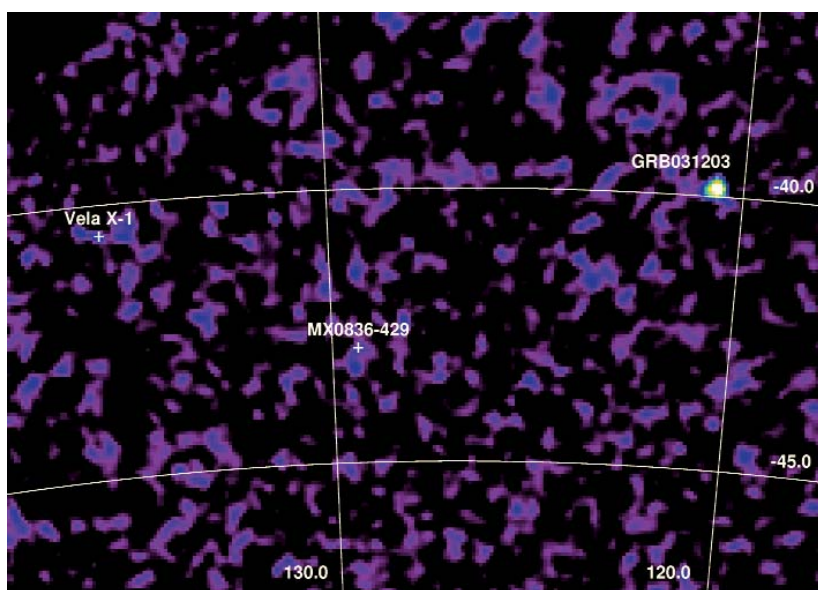
One of the brightest intermediate polars V1223 Sgr was observed with INTEGRAL in August-September 2003. Its spectrum was recovered up to energies 100 keV, despite the fact that the source was near the edge of the field of view. Observations at these energies are very important, because they enable to estimate the mass of the white dwarf from the gas temperature after the shock wave. A mass of 0.7-0.9 solar masses was found for V1223 Sgr.

Гамма всплеск GRB 031203

Гамма-всплески (ГВ) до недавнего времени были одной из наиболее интересных загадок астрофизики высоких энергий. Сейчас мы знаем, что по крайней мере часть из них связаны с определенными типами взрывов сверхновых. На короткий период времени (от миллисекунд до минут) гамма-всплески становятся самыми яркими объектами рентгеновского неба несмотря на то, что они происходят в далеких галактиках. В поле зрения телескопов обсерватории ИНТЕГРАЛ попадает приблизительно 10 ГВ в год. И, что очень важно, программное обеспечение обсерватории позволяет в автоматическом режиме определять положение ГВ и рассылать полученную информацию научному сообществу, что дает возможность в дальнейшем наблюдать сам ГВ или его послесвечение в оптическом и радио диапазонах и определить расстояние до источника.



Всплеск GRB 031203 попал в поле зрения телескопа IBIS обсерватории ИНТЕГРАЛ 3 декабря 2003 г. в 22:01:28 UTC. Его положение на небе было определено с точностью 2.5 угловых минуты и распространено с помощью Интернета в рекордное время – через 20 сек после начала всплеска. Последующие наблюдения позволили обнаружить послесвечение всплеска, галактику ($z = 0.1055$) в которой произошел всплеск, а спустя несколько месяцев наблюдений и сверхновую, связанную со всплеском. Анализ данных обсерватории ИНТЕГРАЛ, проведенный российскими учеными, показал, что временные и спектральные характеристики излучения всплеска GRB 031203 являются обычными для гамма-всплесков. Однако оказалось, что этот всплеск на три порядка величины слабее обычного. Оценка полной энергии, выделившейся при всплеске ($< 10^{50}$ эрг), показывает, что распределение энергий всплесков должно быть более широким, чем это предполагалось до сих пор. Также оценки показывают, что слабые всплески во Вселенной могут быть более многочисленны чем "стандартные".



Изображение области неба, в которой произошел гамма-всплеск, полученное за 20 секунд телескопом IBIS в диапазоне энергий 17-50 кэВ. Крестиками показаны положения известных источников - рентгеновского пульсара Vela X-1 и барстера MX0836-429, наблюдения которых проводились в этот момент.

A sky image around GRB031203 in the 17-50 keV energy band obtained with INTEGRAL/IBIS during 20 sec. Positions of X-ray pulsar Vela X-1 and burster MX0836-429 are shown by crosses.

С момента открытия в 1997 году послесвечений гамма-всплесков в рентгеновском, оптическом и радио диапазонах удалось измерить расстояния до примерно 30 всплесков. Большинство зарегистрированных событий произошло в далеких галактиках на красных смещениях $\sim 0.3-4$ и характеризовалось огромной энергетикой, $\sim 10^{52-54}$ эрг (при изотропном излучении всплеска). Анализ послесвечений указывает на то, что излучение всплеска сильно коллимировано и ранее высказывалось предположение, что все всплески характеризуются универсальной величиной полного энерговыделения $\sim 10^{51}$ эрг. Наблюдение обсерваторией ИНТЕГРАЛ одного из ближайших гамма-всплесков GRB 031203 не подтверждает эту гипотезу.

Gamma-Ray Burst GRB 031203

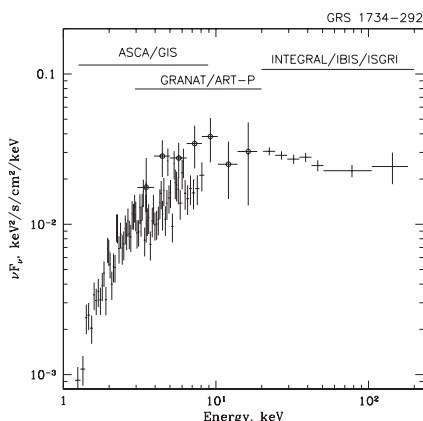
The origin of gamma-ray bursts (GRBs) remained a puzzle until recently. However, now we know that at least a fraction of them are linked to specific types of supernovae. For a short time (from milliseconds to minutes), a GRB becomes the brightest gamma-ray source in the whole sky, even if it occurred in a very distant galaxy. Since the discovery of afterglows in 1997, distances have been measured to some 30 GRBs. Most of these events were characterized by a huge radiant energy release $\sim 10^{52-54}$ erg, assuming isotropic emission.

About 10 GRBs per year occur in the field of view of INTEGRAL telescopes and their positions are automatically determined and disseminated around the world almost immediately.

GRB 031203 was detected with IBIS on 3 December 2003 at 22:01:28 UTC. Its position was determined with an accuracy of 2.5 arcminutes within 20 sec after the trigger. Follow-up observations revealed a host galaxy ($z = 0.1055$) and a supernova associated with the burst. An analysis of the INTEGRAL data by Russian scientists showed that the time profile and energy spectrum of GRB 031203 are typical for GRBs, but this burst is three times less energetic ($< 10^{50}$ erg) than usual ones. This indicates that the energy distribution of GRBs is broad. Weaker bursts may be more abundant than the "standard" ones.

Активное Ядро Галактики GRS 1734-292

Рентгеновский источник GRS 1734-292 был открыт обсерваторией ГРАНАТ в 1992 году при помощи советского телескопа АРТ-П. Этот источник расположен всего лишь в одном градусе дуги от Галактического Центра в поле с высокой концентрацией рентгеновских источников, и поэтому его наблюдения сильно затруднены для инструментов с недостаточным угловым разрешением. Открытие, сделанное телескопом АРТ-П, позволило в дальнейшем отождествить источник GRS 1734-292 с активным ядром галактики, расположенной от нас на красном смещении $z=0.0214$. Однако, если с тех пор наблюдения этой области в стандартном рентгеновском диапазоне (0.5-10 кэВ) неоднократно проводились различными обсерваториями, то в жестком рентгеновском диапазоне ($>10-20$ кэВ) наблюдать GRS 1734-292 мог лишь телескоп СИГМА обсерватории ГРАНАТ, имеющий хорошее угловое разрешение. Однако его чувствительность была недостаточной для уверенной регистрации излучения этого активного галактического ядра. Теперь, с телескопами обсерватории ИНТЕГРАЛ, такая возможность представилась и по данным глубоких наблюдений области Галактического Центра российскими учёными получен широкополосный рентгеновский спектр источника GRS 1734-292.

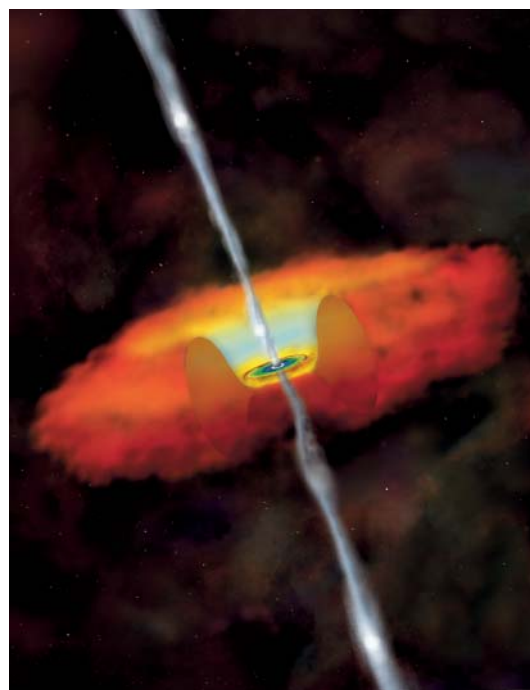


Энергетический спектр активного галактического ядра GRS 1734-292 по данным обсерваторий ИНТЕГРАЛ, ГРАНАТ и ASCA.

Energy spectrum of the AGN GRS 1734-292 obtained with INTEGRAL, GRANAT and ASCA.

Полученный спектр может быть аппроксимирован степенным законом с фотонным индексом $\Gamma \sim 2.1$ без признаков завала вплоть до энергий ~ 150 кэВ. Интересно отметить, что такой жесткий спектр вместе с фактом регистрации гамма излучения на энергиях >100 МэВ из этой области Комптоновской обсерваторией гамма лучей (CGRO) может указывать на то, что этот источник демонстрирует блазарный механизм излучения (коллимированное в нашу сторону излучение в релятивистском джете, направленном на нас), аналогично широко известному источнику 3C273. Однако также возможно, что источник жесткого гамма излучения не связан с GRS 1734-292 и последний

является обычной Сейфертовской галактикой. В пользу этой гипотезы говорят результаты оптических и радионаблюдений этого объекта.



Active Galactic Nucleus GRS 1734-292

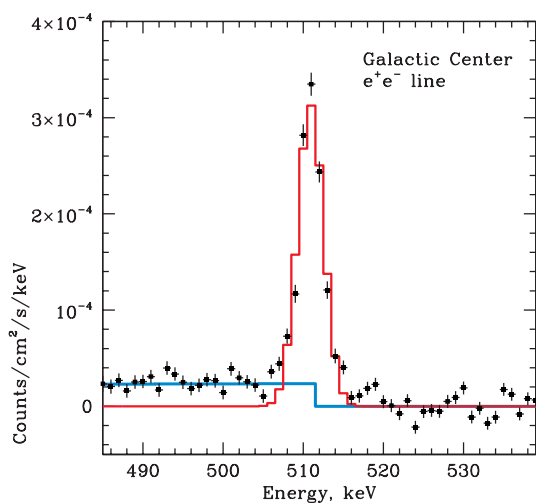
The X-ray source GRS 1734-292 was discovered by the Soviet telescope ART-P onboard the GRANAT satellite. It was subsequently identified with an AGN at redshift $z=0.0214$. GRS 1734-292 is located within one degree of the Galactic center, and was a very difficult target for instruments with low angular resolution due to the very high concentration of sources. Using the INTEGRAL data Russian scientists measured for the first time the broad-band X-ray spectrum of GRS 1734-292.

The spectrum can be approximated by a power law with photon index $\Gamma \sim 2.1$ extending at least to ~ 150 keV. This taken together with the detection of gamma-ray emission at energies >100 MeV from the same sky region by the CGRO observatory seem to indicate that GRS 1734-292 is a blazar, a beamed source shining at us. Optical and radio data however suggest that GRS 1734-292 is more likely as usual Seyfert galaxy, not related to the CGRO source.

Линия 511 кэВ - аннигиляция антиматерии в Центре Галактики

Высокое энергетическое разрешение спектрометра SPI позволяет эффективно регистрировать узкие эмиссионные линии на энергиях сотен и тысяч кэВ. Эти линии являются наиболее прямым источником информации о ядерных превращениях вещества в Галактике. Ярчайшей подобной линией является линия аннигиляции электрон-позитронных пар.

Позитроны представляют собой наиболее распространенную форму антивещества в Галактике. Целый ряд различных по своей природе процессов в астрофизических объектах может приводить к их рождению. Наиболее важным из этих процессов является β -распад, при котором ядерные превращения изотопов сопровождаются испусканием позитронов. Для астрофизики естественным поставщиком позитронов является, например, распад радиоактивного изотопа алюминия ^{26}Al с временем жизни около миллиона лет. Этот изотоп образуется как в звездах типа Вольф-Райе, так и при взрывах сверхновых и отражает современный темп звездообразования в Галактике. Столкновение позитрона (анти-электрона) с обычным электроном может привести к аннигиляции – исчезновению этих двух частиц и рождению вместо них двух или нескольких фотонов. Именно эти фотоны и способен обнаружить ИНТЕГРАЛ.



Спектр Галактической диффузной линии аннигиляции позитрония. Красная кривая – вклад пара-позитрония, синяя – орто-позитрония.

Spectrum of Galactic diffuse emission in the positronium annihilation line. The red and blue curves indicate the contributions from para-positronium and ortho-positronium, respectively.

Практически все процессы приводят к образованию "горячих" позитронов, т.е. частиц, чья кинетическая энергия сравнима или превышает их массу покоя. При таких энергиях сечение (вероятность процесса) аннигиляции весьма мало и позитроны, как правило, успевают потерять значительную часть своей энергии до того как произойдет аннигиляция. Время между рождением и аннигиляцией может составлять миллионы лет, в течение которых позитрон постепенно дрейфует от места своего рождения до места

исчезновения. Если вещество вокруг позитрона достаточно холодное, то до аннигиляции позитрон захватывает электрон и образует так называемый "позитроний" – аналог атома водорода, в котором роль положительно заряженного ядра (протона в случае атома водорода) выполняет позитрон. Просуществовав недолгое время, позитроний, наконец, аннигилирует, испуская жесткие гамма-лучи. Различают два типа позитрония - пара- и орто-позитроний. Аннигиляция пара-позитрония приводит к появлению двух квантов с энергией 511 кэВ, тогда как орто-позитроний аннигилирует с образованием трех фотонов, формирующих непрерывный спектр. Спектрометр SPI способен регистрировать обе эти компоненты (рис.) и измерять соотношение между орто- и пара-позитронием. Построение карт распределения яркости аннигиляционной линии, измерения скоростей движений и температуры в области аннигиляции и исследования возможной временной переменности аннигиляционного излучения позволяют решить фундаментальные задачи как об источниках позитронов в Галактике, так и о физических условиях в межзвездной среде, где происходит аннигиляция позитронов.

511-KeV Line - Annihilation of Antimatter in the Galactic Center

With its high spectral resolution, the spectrometer SPI can efficiently detect narrow emission lines at energies of the order of hundreds and thousands keV. These lines directly provide information about the nuclear transitions in the Galactic interstellar medium (ISM). The brightest line of this kind results from the annihilation of electron-positron pairs.

Positrons are the most common form of antimatter. A wide variety of processes occurring in astrophysical objects can create positrons, the most important being the β -decay. One natural astrophysical source is the decay of the radioactive isotope of aluminium ^{26}Al , which is produced in Wolf-Rayet stars as well as in supernovae and therefore reflects the present star formation rate in the Galaxy. The collision of a positron with an electron may result in disappearance of both particles and the appearance of two or more high-energy photons which can be detected by INTEGRAL.

Virtually all the processes lead to the creation of "hot" positrons, i.e. particles whose kinetic energy is comparable to or exceeds their rest mass. If the matter around the positron is sufficiently cold, it can capture an electron before being annihilated and thereby create a so-called positronium, the analog of a hydrogen atom. After a short existence, the positronium annihilates emitting hard gamma-rays. There are two types of positronium- para- and ortho-positronium. The annihilation of para-positronium leads to the appearance of two photons each of energy 511 keV, whereas the annihilation of ortho-positronium creates three photons forming a continuum spectrum.

Mapping the brightness distribution in the annihilation line, measurement of velocities and temperatures and study of variability of annihilation sources enables us to solve fundamental problems about the positron sources in the Galaxy and the physical conditions in the ISM.

Перспективы и второй цикл наблюдений АО-2

Результаты первого года наблюдений показали большой потенциал приборов обсерватории ИНТЕГРАЛ. На конкурс проектов второго года наблюдений АО-2 было подано 142 заявки с общим запрашиваемым временем наблюдений 144 миллиона секунд при том, что физически доступное время для наблюдений второго цикла в Основной программе составляет ~18.5 миллиона секунд. По результатам конкурсов Российского и Европейского программных комитетов российские ученые получили ряд заявок с общим временем наблюдения 4.6 миллиона секунд. Наблюдения первого года показали преимущество больших полей зрения телескопов обсерватории для решения целого ряда задач астрофизики высоких энергий, что нашло свое отражение в темах новых российских заявок. Большую часть российской программы наблюдений составляют коллективные заявки ряда ведущих российских ведущих институтов на наблюдения густонаселенных областей нашей Галактики: области Галактического Центра и области, касательной к спиральному рукаву в созвездии Стрельца.

Первые результаты наблюдений поля в Стрельце в марте-апреле 2004 года совместно с обсерваторией RXTE и наземными оптическими и радио телескопами привели к открытию важных новых свойств источника SS433 на временных масштабах 10-1000 секунд. Обнаружена также новая вспышка от рентгеновского пульсара XTE J1858+034.

Улучшение статистики наблюдений Галактической плоскости и Галактического Центра и накопление фотонов в диффузных галактических ядерных линиях позволяет с полной уверенностью ожидать от дальнейших наблюдений обсерватории ИНТЕГРАЛ новых и интересных результатов.

Prospects for the second cycle AO-2

The results of the first cycle demonstrated the huge scientific potential of INTEGRAL. 142 proposals were submitted for AO-2 with a total requested exposure of 144 Ms, significantly over-subscribing the available ~18.5 Ms. Russian scientists have received 4.6 Ms. Observations of the first cycle clearly showed the advantage of monitoring large fields. This is reflected in the fact that the bulk of the Russian quota for AO-2 consists of collective proposals (from several leading institutions) for observations of populated regions of the Galaxy: the Galactic center and the Sagittarius Arm Tangent.

The first results of observations of Sgr in March-April 2004 together with RXTE, optical and radio telescopes led to the discovery of new important properties of SS433 on time scales of 10-1000 s. An outburst from the X-ray pulsar XTE J1858+034 was also discovered. Improvement of statistic of observations of the Galactic plane and Galactic center and accumulation of photons in diffuse nuclear lines allows to expect new fundamental results from further INTEGRAL observations.

Публикацию подготовили
сотрудники ИКИ РАН и ГАИШ МГУ:


- М.Г.Ревнивцев
- А.А.Лутовинов
- С.Ю.Сазонов
- Е.М.Чуразов
- А.А.Вихлинин
- К.А.Постнов
- Н.А.Эйсмонт
- М.Р.Гильфанов
- Р.А.Сюняев
- М.Н.Павлинский
- А.М.Черепашук

Publication was prepared by Russian
INTEGRAL working groups of IKI RAS
and SAI MSU:

- M.Revnitsev
- A.Lutovinov
- S.Sazonov
- E.Churazov
- A.Vikhlinin
- K.Postnov
- N.Eismont
- M.Gilfanov
- R.Sunyaev
- M.Pavlinisky
- A.Cherepashchuk

Полиграфия - Направление.RU
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
www.n-e.ru
Дизайн, Макет: Игорь Зеленцов

Published by Napravlenie.RU agency
84/32 Profsoyuznaya st. Moscow 117997 Russia
www.n-e.ru
Design & Layout: Igor Zelentsov



**Российский Центр
Научных Данных
обсерватории ИНТЕГРАЛ**

117997 Россия, Москва
ул. Профсоюзная 84/32

телефон: 7 (095) 333-22-22
факс: 7 (095) 333-53-77

e-mail: integral@hea.iki.rssi.ru
<http://integral.rssi.ru>

