

Отдел создан в конце 2013 г. на основе нескольких лабораторий и секторов Института. Идея его создания состояла в том, чтобы объединить теоретические и экспериментальные астрономические исследования, в разных диапазонах электромагнитного спектра, от радио- до гамма-излучения.

Теоретическими исследованиями и численным моделированием задач современной астрофизики и космологии занимается лаборатория магнитоплазменных процессов в релятивистской астрофизике. Основы релятивистской астрофизики были заложены выдающимся советским физиком, академиком **Я. Б. Зельдовичем**, и руководитель лаборатории д-р физ.-мат. наук, профессор Г. С. Бисноватый-Коган — один из первых учеников Якова Борисовича в области астрофизики. Тематика исследований лаборатории включает исследование физических процессов, происходящих в сверхновых звёздах, изучение свойств коры нейтронных звёзд, задачи аккреции на нейтронные звёзды и чёрные дыры, гравитационное линзирование, исследования влияния тёмной энергии на истечения из скоплений галактик и др.

Сектор быстропеременных космических источников занимается исследованием космических гамма-всплесков — одних из самых мощных катастроф во Вселенной. Эти работы начались в ИКИ РАН с 1980-х гг. под руководством **Исаия Вениаминовича Эстулина** в отделе внеатмосферной астрономии, который возглавлял **Иосиф Самуилович Шкловский**. Проводятся фотометрические наблюдения на российских и зарубежных телескопах различных проявлений гамма-всплесков в оптическом диапазоне в их активной фазе, фазе послесвечения и родительских галактик, а также исследования связи гамма-всплесков со сверхновыми. Другое направление работ — исследование земных гамма-вспышек (TGF), которые связывают с молниевой активностью в верхней атмосфере.

Лаборатория сверхдальней радиоинтерферометрии занимается исследованиями в области радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ). Главный научный сотрудник, д-р физ.-мат. наук Леонид Иванович Матвеевко — автор метода и один из пионеров создания и развития РСДБ, метода, который позволяет радиоастрономическим наблюдениям достичь очень высокого углового разрешения.

Исследования лаборатории микроволновой техники и лаборатории радиометрии продолжают работы отдела прикладной космической миллиметровой и субмиллиметровой астрономии под руководством д-ра физ.-мат. наук И. А. Струкова. В этом отделе был реализован важнейший проект «Реликт-1» (на борту аппарата «Прогноз-9») и были начаты работы по проекту «Реликт-2».

The department was created in the end of 2013 on the basis of a number of laboratories and departments in the Institute. The idea was to combine theoretical and experimental astronomical research in different electromagnetic spectra, from radio to gamma rays.

Theoretical research and numerical simulations in astrophysics and cosmology are carried out by the laboratory of magnetoplasma processes in relativistic astrophysics. The groundwork of relativistic astrophysics was created by a prominent Soviet physicist, academician **Yakov Zeldovich**, and the head of the laboratory Prof. Dr. Gennady Bisnovaty-Kogan is one of the first his students in astrophysics. The laboratory areas of research are physics in supernovae, neutron star crust properties, accretion problems for neutron stars and black holes, gravitational lensing, effect of dark energy on the galactic cluster outflow, etc.

The department of rapidly-changing cosmic sources deals with cosmic gamma-ray bursts, which are one of the most energetic catastrophic events in the Universe. This research began in IKI since the 1980s under the guidance of **Isay Estulin** in the department of exoatmospheric astronomy, headed by **Iosif Shklovsky**. With the Russian and foreign telescopes photometric observations are made of various instances of gamma-ray bursts in optical spectrum in active phase, afterglow and host galaxy phase, as well as connection of gamma-ray bursts to supernovae. Another focus area is terrestrial gamma-ray flashes (TGF), which are linked to the lightning activity in the upper atmosphere.

The ultralong radiointerferometry laboratory researches very long base interferometry (VLBI). The chief research scientist Dr. Leonid Matveenko, is the inventor and one of the pioneers of VLBI creation and development, the method that enables radioastronomical observations to achieve very high resolution.

Research conducted by the microwave engineering laboratory and radiometry laboratory takes over the work of the department of applied extraterrestrial millimeter- and submillimeter-wave astronomy headed by Dr. Igor Strukov. The department executed a very important mission *Relikt-1* (aboard *Prognoz-9* spacecraft) and began the *Relikt-2* project.

ОТДЕЛ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ АСТРОНОМИИ И РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

(64)

THEORETICAL AND OBSERVATIONAL ASTRONOMY AND RADIOINTERFEROMETRY DEPARTMENT

(64)



Руководитель — д-р физ.-мат. наук Сергей Моисеенко

Head — Dr. Sergey Moiseenko



И. В. Эстулин
(16.10.1917–15.11.1982)
I. V. Estulin
(October 16, 1917 –
November 15, 1982)



Леонид Матвеевко
Leonid Matveenko

Инициатором «Реликта-1» был академик **Николай Семёнович Кардашев** (сегодня — руководитель АКЦ ФИАН). В его ходе была впервые измерена анизотропия микроволнового реликтового излучения, которое осталось во Вселенной с самых ранних стадий её развития.

Сектор субмиллиметровой и инфракрасной астрономии как лаборатория появился в ИКИ РАН в начале 1970-х гг. Здесь были разработаны охлаждаемые фотометры субмиллиметрового диапазона и проведены астрономические исследования межзвёздной пыли и характеристик земной атмосферы на высокогорных и самолётных телескопах. Сейчас главное направление работ сектора — исследование астрономическими методами свойств и распределение пыли в космосе и атмосфере Земли.

Проекты отдела или подготовленные с участием сотрудников отдела

Астрофизические исследования: «Реликт» («Прогноз-9», 1983–84); «РадиоАстрон» (с 2011 г. по настоящее время)

Исследования планет: «Фобос-Грунт» (2011), «Фобос-1, -2», «Марс-96»

Будущие проекты

Исследования Марса: «ЭкзоМарс» (ЕКА/Роскосмос, 2016)

Исследования Луны: «Луна-25» (2018), «Луна-27» (2020)

Исследования Земли: «Чибис-АИ» (2016)

Лаборатория магнитоплазменных процессов в релятивистской астрофизике (641)

(руководитель — д-р физ.-мат. наук **Геннадий Бисноватый-Коган**)

Тематика исследований лаборатории сформировалась под влиянием научной астрофизической школы академика **Я. Б. Зельдовича**. Специализация лаборатории — разработка теоретических подходов к исследованию астрофизических объектов и численное моделирование. Плазма — четвёртое и самое распространённое состояние вещества во Вселенной, поэтому круг интересов сотрудников отдела широк: от отдельных астрофизических объектов до физической космологии.

Основные направления исследования

- Физические процессы в сверхновых;
- МГД-моделирование задачи о магнито-ротационном взрыве сверхновой с коллапсирующим ядром;
- гравитационное линзирование на чёрных дырах;
- процессы аккреции на звёзды с магнитным полем;

The proponent of *Relikt-1* was academician **Nikolay Kardashev** (now the head of the Astro-Space Center of the RAS Lebedev Physical Institute). During this project for the first time anisotropy of the relict microwave background was measured that remained in the Universe after its early development stages.

The department of submillimeter and infrared astronomy appeared as a laboratory in IKI in the early 1970s. There a cooled submillimeter-wave photometers were developed and studies of interstellar dust and the Earth's atmospheric properties were conducted in high-altitude and airborne telescopes. Today the department's main area of research is the study with astronomical methods of dust properties and distribution in space and the Earth atmosphere.

Completed and Ongoing Projects

Astrophysical research: *Relikt (Prognoz-9, 1983–84)*; *RadioAstron (2011– to date)*

Planetary exploration: *Phobos Sample Return (2011)*, *Phobos-1, -2, Mars-96*

Projects in Development

Mars exploration: *ExoMars (ESA/Roscosmos, 2016)*

Moon exploration: *Luna-Glob (2018)*, *Luna-Resurs-Lander (2020)*

Earth exploration: *Chibis-AI (2016)*

Laboratory of MagnetoPlasma Processes in Relativistic Astrophysics (641). Head —

Dr. Gennady Bisnovaty-Kogan

The area of research of the laboratory was shaped by the astrophysics school of the member of the Academy of Sciences **Yakov B. Zel'dovich**. The laboratory specialty is development of theoretical approaches to research of astrophysical objects and numerical modeling. Plasma is the fourth and the most widespread state of matter in the Universe, therefore the range of interests of the department employees is wide: from individual astrophysical objects to physical cosmology.

Research Areas

- Physical processes in supernovae;
- MHD simulation of magnetorotational explosion of core-collapsed supernovae;
- gravitational lensing on black holes;
- accretion processes for stars with magnetic field;

Геннадий Бисноватый-Коган
Gennady Bisnovaty-Kogan



- МГД-моделирование движения нейтронной звезды с магнитным полем сквозь межзвездную среду.

Результаты

Моделирование задачи о магниторотационном взрыве (MR) сверхновой с коллапсирующим ядром. При магниторотационном взрыве учитывается, как энергия магнитного поля, которое увеличивается при коллапсе звезды, переходит в радиальную кинетическую энергию взрыва. В моделях, которые предложены в лаборатории, учитывается перенос нейтрино при помощи процедуры ограничения потоков. Кроме этого, сравнивались результаты расчётов MR-взрыва при различных уравнениях состояния, и показано, что этот механизм слабо зависит от выбора уравнения состояния (то есть соотношения между давлением, температурой и плотностью звезды, которая становится сверхновой) и деталей учёта нейтринного переноса. Энергия MR-взрыва растёт с увеличением массы железного ядра, а также с увеличением начальной вращательной энергии. Разрабатывается программа для трёхмерного моделирования магниторотационных астрофизических процессов, которые должны представить эти процессы с ещё большей детализацией, чем в двумерном случае.

Антигравитация тёмной энергии как ускоритель газа, истекающего из скоплений галактик. Решена задача об истечении политропного газа в сферически симметричном гравитационном поле в присутствии тёмной энергии в виде космологической постоянной, создающей антигравитацию. Это имеет прямое отношение к тому, как ведёт себя горячий газ в скоплениях галактик. Показано, что тёмная энергия может приводить к ускорению ветра до скоростей, много больших вириальных скоростей галактик в скоплениях. Столкновение сильно ускоренных ветров в присутствии магнитного поля может рождать космические лучи сверхвысоких энергий. При этом пекулярные (собственные, не связанные с тёмной энергией) скорости двух скоплений должны быть направлены противоположно друг другу.

Гравитационное линзирование на невращающейся чёрной дыре, окружённой плазмой, при больших углах отклонения. Исследованы релятивистские изображения источника, сформированные фотонами, совершающими один или несколько оборотов вокруг чёрной дыры. Получены асимптотические формулы для углов отклонения фотонов. Аналитически рассчитаны угловые положения и коэффициенты усиления релятивистских изображений при наличии однородной плазмы.

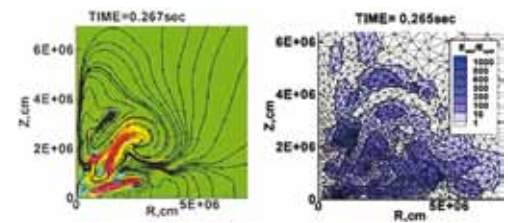
- MHD simulation of motion of neutron star with magnetic field in interstellar medium.

Results

Simulation of magnetorotational (MR) explosion of core-collapsed supernovae. During a magnetorotational explosion it is considered how the energy of the magnetic field, which increases with the star collapse, transfers into the radial kinetic energy of the explosion. The models simulated by the laboratory consider neutrino transfer through the flux limited procedure. The analysis of MR explosion simulation results with various equations of state were compared and they indicated that this mechanism weakly depends on a selected equation of state (i.e. relation between pressure, temperature, and density of supernova matter) and details of neutrino transfer. The MR explosion energy grows with increase of an iron core mass, as well as with increase of initial rotation energy. A program is being developed for a 3D simulations, the magnetorotational astrophysical processes, which should present them in greater details than in 2D.

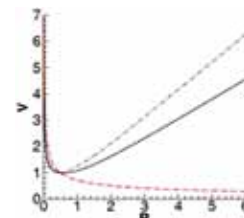
Dark energy antigravity as an accelerator to gas exiting galactic clusters. A problem was solved for a polytropic gas flow in spherically symmetric gravitational field with dark energy as a cosmological constant what creates antigravity. It is straightly connected with hot gas behaviour in galactic clusters. It indicates that the dark energy can accelerate the wind to velocities far greater than virial velocities of galaxies in a cluster. Collision of highly accelerated winds with the presence of the magnetic field can create cosmic rays of ultrahigh energy. In such a case peculiar (natural, not related to dark energy) velocities of two clusters has to be counterdirected.

Gravitational lensing of non-rotating black hole surrounded by plasma at high deviation angles. There were studied relativistic images of a source formed by photons making one or several circles around a black hole and asymptotic equations were obtained for deviation angles of photons. Analytically there were calculated angular positions and magnification coefficients of the relativistic images with homogeneous plasma.



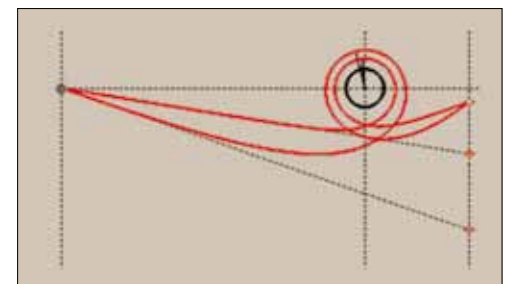
Развитие магнито-дифференциально-вращательной неустойчивости во внутренних областях звезды перед взрывом. По осям отложены цилиндрические координаты R, Z . Сплошные линии — линии полоидального магнитного поля, заливка — торoidalное магнитное поле (слева). Отношение торoidalной магнитной энергии к полоидальной магнитной энергии (справа, обозначено цветом)

Development of Magneto-Differential-Rotational Instability in a star interior prior to explosion. Cylindrical coordinates r, z are along the axes. Full lines are the forcelines of poloidal magnetic field, color — toroidal magnetic energy to poloidal magnetic energy (right, marked by color)



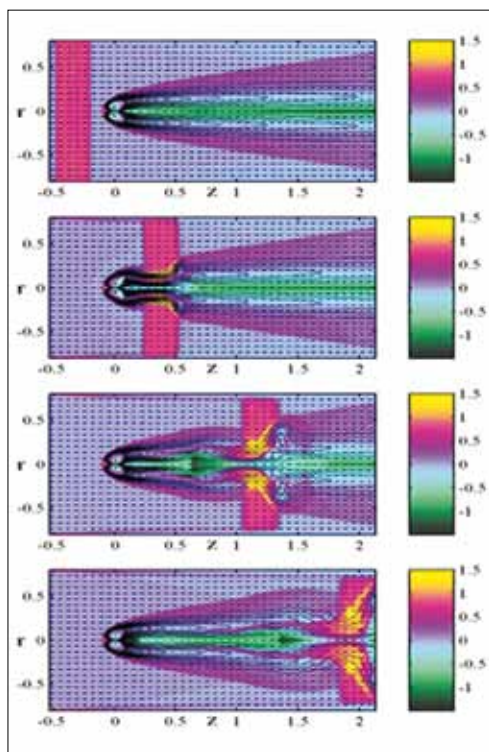
Ускорение ветра из скопления галактик Волосы Вероники. По оси абсцисс — расстояние от центра скопления, по оси ординат — скорость. Результаты численного моделирования

Acceleration of wind from the Coma Berenices galaxy cluster. X-direction is the distance to the center of the cluster, Y-direction — velocity. Results of numerical modeling



Формирование релятивистских изображений на разных частотах при линзировании в однородной плазме. Красным цветом показаны траектории фотонов от точечного источника при прохождении около чёрной дыры

Formation of relativistic images at different frequencies with lensing in homogeneous plasma. In red are photon trajectories from a point source while passing near a black hole



Движение нейтронной звезды с магнитным полем через плотное холодное облако межзвёздной среды

Motion of a neutron star with magnetic field through a dense cold cloud of the interstellar medium

Показано, что при наличии плазмы угловые положения и коэффициенты усиления увеличиваются, по сравнению со случаем вакуума.

Задача о движении нейтронной звезды с дипольным магнитным полем через однородную и неоднородную межзвёздную среду, исследуемая при помощи численного МГД-моделирования. Получена картина течения вещества для разных параметров магнитного поля звезды, скорости движения звезды и плотности межзвёздной среды. Исследован режим георотатора для одиночных нейтронных звёзд. Показано, что силовые линии магнитного поля вытягиваются в направлении потока вещества вне магнитосферного радиуса и образуют длинный хвост магнитосферы, форма которого изменяется в зависимости от плотности межзвёздной среды. Кроме этого, в хвосте наблюдается пересоединение магнитных силовых линий.

Расчёт кинетических коэффициентов вырожденной плазмы. Кинетические коэффициенты определяются как потоки некоторых физических величин (например, теплоты или импульса) и зависят от вариаций температуры, концентрации и т. д. Была решена задача о вычислении кинетических коэффициентов в вырожденной плазме электронов в приповерхностном слое одиночной замагниченной нейтронной звезды. Решено уравнение Больцмана с учётом магнитного поля, методом последовательных приближений Чепмена-Энскога. Получено более точное приближение для коэффициентов теплопроводности и электропроводности вырожденных электронов, по сравнению с использованным в предшествующих работах по данной теме, и это важно для более точного моделирования тех процессов, что происходят на поверхности нейтронных звёзд.

Тематика лаборатории также включает:

- исследование аккреции на нейтронные звёзды и чёрные дыры: структура аккреционных дисков при большой светимости;
- моделирование жёсткого излучения горячих корон методом Монте-Карло, разработка механизма нагрева вещества направленных выбросов из аккреционных дисков (джетов).

It was indicated that in presence of plasma angular positions and magnification coefficients increase compared with vacuum.

The problem of motion of a neutron star with a dipole magnetic field through the homogeneous and inhomogeneous interstellar medium is investigated with numerical MHD simulation. The matter stream pattern was revealed for various parameters of the star magnetic field, star velocity, and the interstellar medium density. The georotator mode for single neutron stars was studied. It was shown that the extension of the magnetic field lines in the direction of the matter stream outside the magnetospheric radius creates a long tail of the magnetosphere. Its shape can change depending on the interstellar medium density, besides in the tail a reconnection of the magnetic field lines is evidenced.

Calculation of the kinetic coefficients for degenerate plasma. The kinetic coefficients are defined as certain physical quantities (i.e. radiation or impulse) and depend on variations of temperature, concentration, etc. A problem was solved to calculate the kinetic coefficients in the degenerate plasma of electrons in the surface layer of a single magnetized neutron star. The Boltzmann equation was solved with consideration of the magnetic field using the method Chapman-Enskog of successive approximations, which resulted in a more accurate approximation for coefficients of thermal and electric conductivity of degenerate electrons, compared to the one applied in the previous works on the topic. This is important for a more accurate modelling of the processes taking place on the neutron star surfaces.

The research topics of the laboratory also include:

- investigation of accretion for neutron stars and black holes: accretion discs structure with high luminosity;
- modeling of the hot corona hard rays using the Monte Carlo method, formulation of the heating mechanism for directed ejections of the accretion discs (jets).

Сектор быстропеременных космических источников (64.2) (руководитель — канд. физ.-мат. наук Алексей Позаненко)

Тематика исследования космических гамма-всплесков (GRB, gamma-ray bursts) была унаследована из лаборатории гамма-спектроскопии космических источников, которой руководил д-р физ.-мат. наук И. Г. Митрофанов.

Интересно, что гамма-всплески, открытые случайно в 1967 г., как позже рассказывал участник эксперимента, Рей Клебесадел, поначалу не заинтересовали военное ведомство США, по чьему заказу были разработаны космические аппараты серии Vela (от исп. *velar* — смотреть) для контроля за наземными испытаниями ядерного оружия с помощью регистрации гамма-излучения. Данные о гамма-всплесках внеземного происхождения были просто положены «в стол», а первая публикация увидела свет лишь в 1973 г. С тех пор зарегистрировано более 10 тысяч гамма-всплесков, но до сих пор их природа до конца не выяснена. Излучение от источников гамма-всплесков регистрируется в настоящее время от 500 МГц и до ~100 ГэВ. Всесторонние исследования гамма-всплесков составляют основную тематику сектора. Наблюдения в оптическом диапазоне в настоящее время становятся наиболее информативным методом исследования гамма-всплесков и позволяют получить данные о космологическом красном смещении источника, параметрах области излучения и окружающей источник межзвёздной среды далёких галактик.

Гамма-всплески земного происхождения (TGF, terrestrial gamma-ray flashes) — ещё одна тематика сектора. Если гамма-всплески космического происхождения находятся в миллиардах световых лет от Земли, то TGF происходят в буквальном смысле над нашими головами — источник земных всплесков гамма-излучения находится в атмосфере нашей планеты и является результатом тормозного излучения релятивистских электронов, возникающих в результате лавинообразного пробоя на убегающих электронах. Считается, что источники TGF связаны с молниевой активностью в верхней атмосфере. Одной из важных задач является отождествление TGF с молниями в оптическом и радиодиапазонах и их локализация.

Современные требования к регистрации GRB состоят в необходимости первичной локализации источника всплеска в гамма-диапазоне и передаче координатной информации в режиме реального времени наземным телескопам для проведения всеволновых исследований. В секторе ведётся подготовка эксперимента по регистрации и локализации гамма-всплесков космического и земного происхождения группировкой микроспутников на околоземной орбите.

Rapid Variable Cosmic Sources Sector (64.2).
Head — Dr. Alexey Pozanenko

The research of gamma-ray bursts (GRBs) was taken over from the laboratory of cosmic sources gamma spectroscopy, headed by Dr. Igor Mitrofanov.

It is interesting to point out that gamma-ray bursts, discovered by accident in 1967, as later was elaborated by Ray Klebesadel, one of the participants of the experiment, didn't catch the interest of the US Department of Defense, which commissioned the development of the VELA series of spacecraft to record gamma emissions and monitor ground nuclear tests. The data on extra-terrestrial gamma rays were just put "on a shelf", and the first publication saw the light only in 1973. Since then over 10,000 gamma-ray bursts were detected, but its nature hasn't yet been fully explained. Radiation from the gamma-ray sources is presently recorded in the range of 500 MHz — ~100 GeV. Thorough investigation of gamma-ray bursts is the main research area of the sector, established in 2013. Optical range observations are currently the most meaningful method of gamma-ray research and enable to receive information on the cosmological redshift of a source, parameters of the emitting area and the matter surrounding the source.

Terrestrial gamma-ray flashes (TGFs) are another topic. While cosmic gamma-ray bursts are billions of light years away from the Earth, TGFs happen literally above our heads — the source of the terrestrial gamma-ray flashes is in the atmosphere of the planet and is caused by the acceleration radiation of relativistic electrons resulting from the avalanche breakdown of escaping electrons. It is considered that the TGF sources are related to the lightning activity in the upper atmosphere. One of the main problems is to match TGF with lightning in the optical and radio range and its localization.

The modern requirements to GRB recording involve primary localization of a burst source in the gamma range and transmission of the coordinates in real time mode to the ground-based telescopes for an all-wave investigation. The sector carries out preparations for an experiment to record and localize cosmic and terrestrial gamma rays with a group of microsatellites on the low earth orbit.



Алексей Позаненко
Alexey Pozanenko

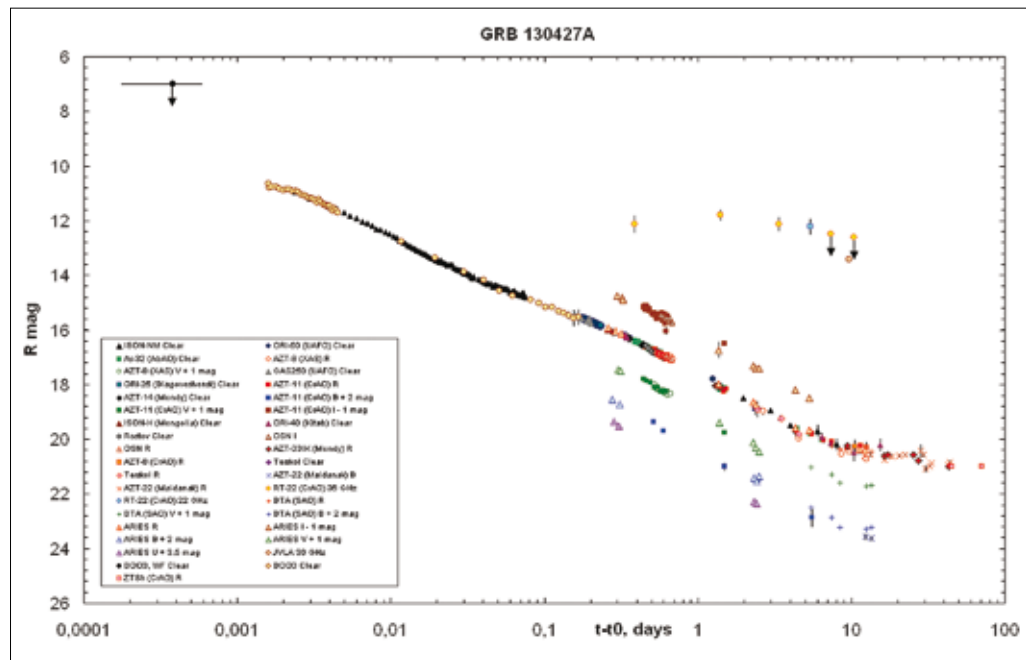


Сектор составляют молодые сотрудники — выпускники ГАИШ МГУ и МФТИ

The sector's staff — young graduates from MSU Sternberg Astronomical Institute and MIPT

Многоцветная кривая блеска оптического послесвечения гамма-всплеска GRB 130427A. Это одно из самых ярких событий как в гамма-, так и в оптическом диапазоне. Оптический источник был открыт в обсерватории ISON-NM (GCN 14450), участвующей в сети наблюдений за гамма-всплесками и включающей более чем 15 обсерваторий стран СНГ, Монголии и США. Кривая блеска построена на основе данных собственных наблюдений и наблюдений обсерватории BOOTES-3 (собственные данные)

Multicolor light curve of GRB 130427A optical afterglow. This is one of the brightest events in both gamma and optical ranges. The optical source was discovered in the ISON-NM (GCN 14450) observatory, which is a part of the gamma ray observational network that includes over 15 observatories from CIS, Mongolia and USA. The light curve was plotted based on the in-house observations and the observations of the BOOTES-3 observatory (original data)



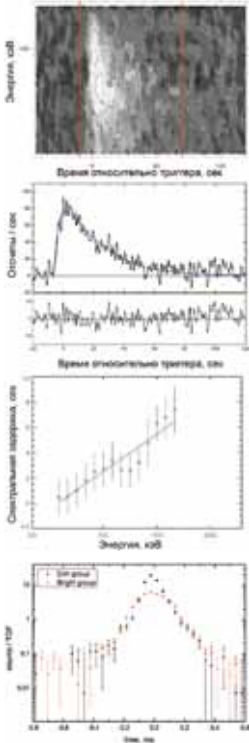
Основные направления исследований

- Наблюдения оптических проявлений гамма-всплесков, сверхновых и родительских галактик;
- моделирование кривых блеска и спектров GRB и TGF;

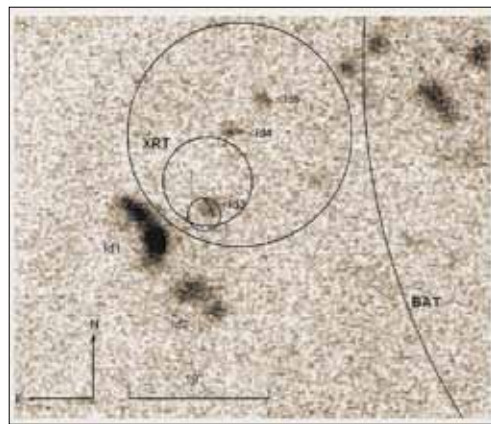
Research Areas

- Observations of optical afterglows of gamma rays, supernovae and host galaxies;
- modelling of light curves and GRB and TGF spectra;

Спектрально-временная диаграмма гамма-всплеска GRB 050504 (вверху), где оттенками серого показана интенсивность сигнала в зависимости от энергии и времени. Данные эксперимента IBIS/ISGRI (INTEGRAL). Кривая блеска (средняя панель) в широком энергетическом диапазоне 20–200 кэВ. Хорошо видно, что гамма-всплеск состоит из одного импульса, аппроксимируемого экспоненциальными ростом и спадом с различными параметрами экспоненты. На нижней панели показана спектральная задержка (лаг) кривой блеска в мягком диапазоне от кривой блеска в более жестких диапазонах в зависимости от энергии диапазона. Для этого импульса задержка описывается законом «время задержки ~ логарифм энергии». На основе исследования многих импульсов высказана гипотеза, что такое поведение универсально для всех импульсов, из которых состоит кривая блеска вспышек в гамма-диапазоне, и может объясняться простой кинематической моделью (ПЖ, 40, 271, 2014)



Усреднённая кривая блеска группы ярких (красным цветом) и тусклых (чёрным) TGF, зарегистрированных в эксперимент RHESSI. Кривые нормированы по крыльям распределения. Хорошо видно, что яркая группа имеет уплотнённый максимум по сравнению с тусклой группой, что объясняется эффектами мёртвого времени детектора, т.е. просчётами фотонов при большой интенсивности потока в пике. Учёт мёртвого времени необходим для выяснения истинной мощности источников TGF (собственные исследования)



Spectral time diagram of the GRB 050504 (above) that shows in shades of grey the signal intensity depending on its energy and time. IBIS/ISGRI/INTEGRAL experiment findings. The light curve (central panel) is in wide energy range 20...200 keV. It is clearly seen that the gamma-ray burst consists of one pulse which is well approximated to exponential growth and decay with various exponent parameters. The lower panel shows a spectral delay (lag) of the light curve in the soft range compared to the light curve in the hard range depending on the range energy. For this pulse the delay is outlined by the delay time ~ energy logarithm law. It is suggested that such behavior is universal for all pulses that constitute the gamma-ray burst light curve, and can be explained by a simple kinematic model of an emitting area (PAZh. 2014. V. 40. P. 271)

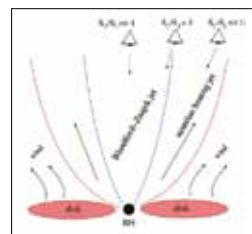
An averaged light curve for a group of bright (in red) and dim (in black) TGFs recorded during the RHESSI experiment. The curves are rated according to wing distribution. It is clearly seen that the bright group has a flattened maximum compared to the dim group, which is explained by dead times of the detector, i.e. miscount of photons due to peak-high stream intensity (original study)

Родительская галактика оптически тёмного гамма-всплеска GRB 051008. Хотя источник вспышки и не был найден ни в оптическом, ни в радиодиапазонах, удалось обнаружить его родительскую галактику на телескопе им. Г. А. Шайна (2,6 м) и затем определить её красное смещение (z = 2,82) фотометрическим способом, проведя наблюдения на телескопе им. В. М. Кека (10 м). Можно предположить, что родительская галактика входит в комплекс гравитационно-связанных галактик. Наблюдения GRB 051008 подтверждают вывод, что галактики с оптически тёмными гамма-всплесками содержат больше пыли, чем родительские галактики обычных всплесков (Volnova A. A. et al. GRB 051008: a long, spectrally hard dust-obscured GRB in a Lyman-break galaxy at z ≈ 2.8 // MNRAS. 2014. V. 442. No. 3. P. 2586–2599)

Host galaxy of the optically dark GRB 051008. Even though the burst source was not found either in optical or radio ranges, its host galaxy was detected with the Shajn telescope (2.6 m) with redshift (z = 2.82) photometrically detected via the Keck telescope (10 m) observations. It can be assumed that the host galaxy is part of a galaxy group. The GRB 051008 observations confirm the conclusion that galaxies with optically dark gamma-ray bursts contain more dust than host galaxies of common bursts (Volnova A. A. et al. GRB 051008: a long, spectrally hard dust-obscured GRB in a Lyman-break galaxy at z ≈ 2.8 // MNRAS. 2014. V. 442. P. 2586–2599)

Двухджетовая модель, объясняющая возможную причину продлённого излучения гамма-всплесков в гамма-диапазоне. Два джета, формирующиеся последовательно друг за другом, объясняют короткую активную фазу излучения коротких гамма-всплесков и последующую, более длительную (Barkov M. V., Pozanenko A. S. Model of the extended emission of short gamma-ray bursts // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (MNRAS). 2011. V. 417. P. 2161–2165)

A two-jet model giving a potential reason for extended radiation of gamma ray bursts in the gamma range. Two jets forming in sequence can explain a short-duration active phase of short gamma-ray bursts and a subsequent longer one (Barkov M. V. et al. Model of the extended emission of short gamma-ray bursts // MNRAS. 2011. V. 417. P. 2161–2165)



- исследование физических процессов и моделей гамма-всплесков космического и земного происхождения;
- создание широкоугольных оптических систем для наблюдения быстропеременных транзитных явлений.

- study of physical processes and models of cosmic and terrestrial gamma-ray bursts;
- creation of a wide-angle optical system for observations of quick-changing transient events.

Лаборатория радиометрии (644)

(руководитель — канд. физ.-мат. наук
Дмитрий Скулачёв)

Основная тематика лаборатории связана с разработкой научной аппаратуры (СВЧ-радиометров) для дистанционных исследований высокочастотных и сверхвысокочастотных радиоизлучений естественных и искусственных объектов, на Земле и в космосе.

Самой яркой работой лаборатории стало участие в создании в 1970–1980-х гг. радиометрического комплекса «Реликт-1» для исследования космологического реликтового излучения с борта спутника Земли. Это излучение равномерно заполняет пространство и несёт информацию об очень ранних стадиях развития Вселенной — около 270 тыс. лет после Большого взрыва. Реликтовое излучение было предсказано теоретически, а затем в 1965 г. обнаружено А. Пензиасом и Р. Вилсоном (США). После этого интерес исследователей был связан с анизотропией реликтового излучения — очень небольшими отклонениями температуры от средней величины, обусловленными тем, как распределялась материя в молодой Вселенной. Для решения этой задачи был создан радиометр Р-08 (частота 37 ГГц, длина волны 8 мм), который в 1983 г. был запущен на борту спутника «Прогноз-9».

Laboratory of Radiometry (644). Head — Dr. Dmitry Skulachev

The main area of the laboratory is development of scientific instruments (microwave radiometer) for remote investigation of high- and super-high-frequency radio emissions of natural and artificial objects on the Earth and in space.

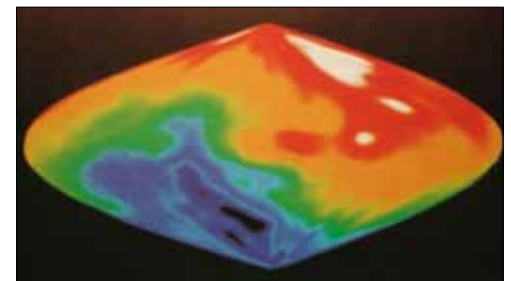
The most outstanding work of the laboratory was its participation in 1970–1980s in development of the *Relikt-1* radiometer suit, designed to study cosmological relict radiation (microwave background) from aboard a satellite. This radiation fills the space and contains information on the earliest stages of the Universe evolution, ca. 270,000 years after the Big Bang. The relict radiation was predicted in theory and then discovered in 1965 by Arno Penzias and Robert Wilson (USA). After that their interest was focused on the relict radiation anisotropy — smallest deviations in temperature from the average attributed to the matter distribution in young Universe. To solve this problem an R-08 radiometer was created (frequency 37 GHz, wave length 8 mm), which was launched onboard *Prognoz-9* spacecraft.



Дмитрий Скулачёв
Dmitry Skulachev

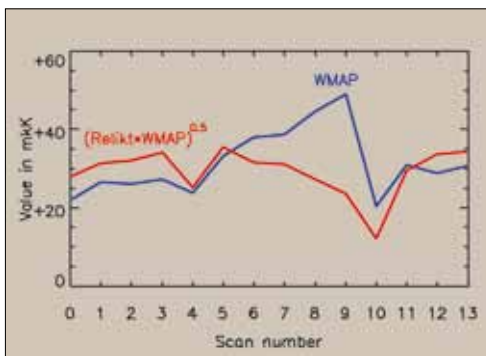


Радиометрический комплекс «Реликт-1»
Relikt-1 radiometer suit

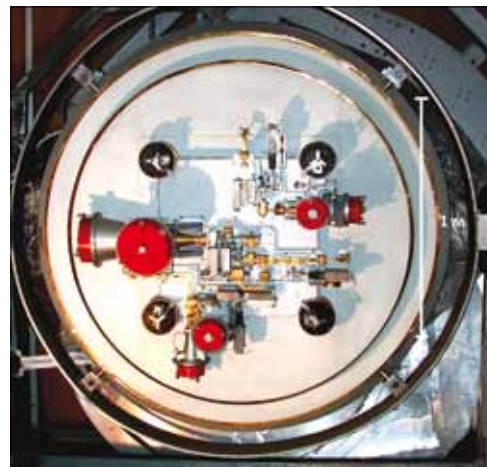


Радиокарта небесной сферы на частоте 37 ГГц. Получено впервые в результате эксперимента «Реликт-1». Впервые обнаружено, что космологическое реликтовое излучение неоднородно и обладает определённой анизотропией. В последующие годы были проведены несколько зарубежных космических экспериментов того же направления (COBE, WMAP, PLANCK), подтвердивших основные результаты эксперимента «Реликт-1». Анализ взаимной корреляции данных, полученных «Реликтом-1» в 1983–1984 гг., и WMAP (2001–2009 гг., NASA, США), показал высокую достоверность результатов «Реликта-1»

Coelosphere radio map on the 37GHz frequency, obtained for the first time as a result of the Relikt-1 experiment. It was revealed that the cosmological relict radiation is nonuniform and possesses a certain level of anisotropy. In the following years several space experiments in this area by other countries (COBE, WMAP, Planck) confirmed the Relikt-1 findings. Intercorrelation analysis of the data received from Relikt-1 in 1983–1984 and WMAP (2001–2009, NASA, USA) indicated the high validity of the Relikt-1 findings.



Корреляция данных эксперимента «Реликт-1» и WMAP
Relikt-1 and WMAP data correlation

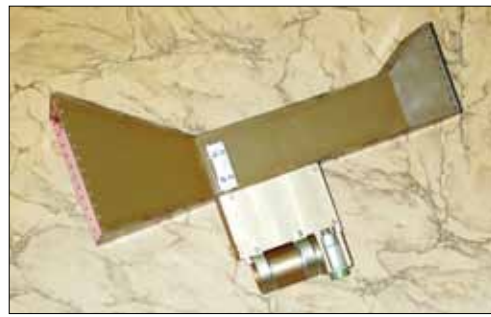


Радиометрический комплекс «Реликт-2»
Relikt-2 radiometer suit



Радиометрический комплекс МИРК для изучения физических характеристик мёрзлых грунтов во время полевых испытаний. МИРК — комплекс из двух СВЧ-радиометров, работающих в диапазоне частот 2,7 и 6,9 ГГц с соответствующими антеннами. Использовался для измерений в КНЦ СО РАН

MIRK radiometric complex for investigation of frozen soil physical properties during field tests. MIRK is a complex of two microwave radiometers operating in the frequency range 2.7 and 6.9 GHz with relevant antennae. It was used for measurements in the Krasnoyarsk research center of the Siberian branch of the Academy of Sciences



Разработка методики эксперимента и создание радиотермометра РАТ для исследования лунного реголита с борта посадочного модуля для проекта «Луна-Ресурс». Прибор РАТ представляет собой компактный СВЧ-радиометр, работающий в трёх частотных полосах в диапазоне от 9 до 18 ГГц. Основная цель эксперимента — оценка тепловых вариаций температуры лунного реголита и степени его смерзания, обусловленного возможным наличием льда

Development of a test procedure and design of the radio thermometer RAT for an investigation of lunar regolith aboard the lander in the Luna-Resurs mission. The RAT instrument is a small microwave radiometer that operates in three frequency bands in the range of 9 to 18 GHz. The main objective of the experiment is to estimate temperature variations of the lunar regolith and degrees of its freezing determined by possible presence of ice



Макетный образец прибора РАТ-М для изучения марсианского грунта и атмосферы Марса с борта посадочной платформы в рамках проекта «ЭкзоМарс» (2018). В лаборатории ведётся разработка методики эксперимента и создание прибора — СВЧ-радиометра, работающего в диапазоне от 10 до 17 ГГц. Основная цель эксперимента — оценка тепловых вариаций температуры марсианского реголита и измерение плотности пыли в атмосфере Марса во время пылевых бурь

A prototype unit of RAT-M for investigation of the Martian soil and atmosphere aboard the lander platform in the ExoMars mission (2018). The laboratory prepares a procedure and designs the instrument, a microwave radiometer operating in the range of 10 to 17 GHz. The main objective is to estimate temperature variations of the Martian regolith and measure dust density in the Mars atmosphere during dust storms

Сотрудники лаборатории принимали участие в управлении космическим экспериментом, обработке и интерпретации полученных научных данных. В ходе эксперимента впервые и с рекордной на то время чувствительностью была получена радиокarta небесной сферы в этом диапазоне.

В 1980–1990-е гг. сотрудники лаборатории занимались разработкой космического комплекса «Реликт-2» — расширенным и значительно усовершенствованным вариантом комплекса «Реликт-1», который смог бы измерить анизотропию реликтового излучения со значительно большей чувствительностью. Однако решением руководящих органов в 1997 г. работы по проекту «Реликт-2» были прекращены.

В последующие годы в лаборатории были созданы многочисленные радиоприёмные устройства для самых разнообразных задач, от наблюдений снежных лавин (наземный радар RAD97, криогенная калибровочная СВЧ-нагрузка CryoLoad) до изучения грунтов других планет, в первую очередь, Луны и Марса по проектам «Луна-Ресурс» и «ЭкзоМарс».

The laboratory staff was involved in monitoring the space experiment, processing, and interpretation of the scientific data. During the experiment for the first time ever and with then record-setting sensitivity the coelosphere radio map was created in the range.

In the 1980–1990s the laboratory staff worked on the *Relikt-2* radiometric complex — a significantly advanced version of *Relikt-1*, that could measure the relict radiation anisotropy with much higher sensitivity. However in 1997 the *Relikt-2* mission was closed down.

In the following years the laboratory created various radio-receiving equipment for a wide range of tasks, from snow avalanche observations (ground-based radar RAD97, cryogenic microwave load *CryoLoad*) to soil investigations of other planets, first of all Moon and Mars in the *Luna-Resurs* and *ExoMars* missions.

Александр Косов
Alexander Kosov



Лаборатория микроволновой техники (645)
(руководитель — канд. физ.-мат. наук Александр Косов)

Лаборатория микроволновой техники занимается созданием приборов для проведения радиофизических экспериментов в космосе и на Земле, планированием и выполнением этих экспериментов.

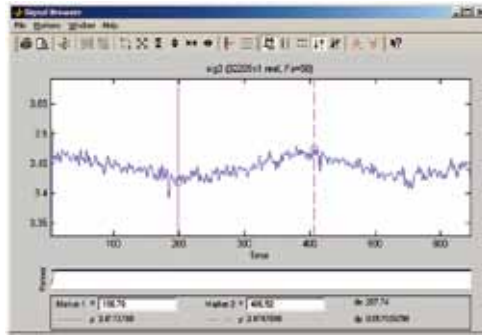
Laboratory for Microwave Instrumentation (645). Head — Dr. Alexander Kosov

The Laboratory for Microwave Instrumentation designs instruments for radiophysical experiments in space and on the Earth, as well as planning and realisation of such experiments.



Когерентный радар для дистанционного зондирования снежных лавин в Альпах, разработанный и изготовленный по контракту с Институтом коммуникаций и распространения волн Технологического университета Граца (Австрия) (Technische Universität Graz)

Coherent radar for remote sensing of snow avalanches in the Alps, designed and manufactured under a contract with the Institute for Communication and Wave Propagation (Technical University Graz, Austria)



Радиофизические измерения в Голубой бухте (Геленджик) с помощью когерентного радара миллиметрового диапазона длин волн для дистанционного зондирования атмосферы и морской поверхности. Слева — результаты измерений, которые демонстрируют наличие волн с длительным периодом (порядка 10 мин)

Radiophysical measurements in the Golubaya Bay (Gelendzhik) with a coherent millimeter wavelength range radar for remote sensing of the atmosphere and sea surface. On the left side are the results of these measurements, displaying presence of long waves (ca. 10 min)

Аппаратура для проекта ФОБОС-ГРУНТ: прибор УСО и антенна эксперимента МРОЕ, установленная на КА «Фобос-Грунт»

Phobos Sample Return hardware: USO instrument and MROE antenna installed on the Phobos Sample Return probe



Первая задача лаборатории, созданной в 1993 г., была разработка аппаратуры для космического эксперимента «Реликт-2», в ходе которого планировалось измерять температуру и анизотропию реликтового излучения. Эти приборы были разработаны и изготовлены, но из-за проблем в российской космической отрасли проект «Реликт-2» был прекращён. Главными космическими темами в 1990–2000-е гг. стали проекты «РадиоАстрон» и «Фобос-Грунт». Кроме этого, сотрудники лаборатории разрабатывали приборы для исследований Земли: радары для дистанционного зондирования морской поверхности, снежных лавин, приёмопередающие устройства и локаторы.

The primary task of the laboratory, which was established in 1993, was to design hardware for the *Relikt-2* space experiment, aimed to measure temperature and anisotropy of the relict radiation. The instruments were designed and manufactured, but due to problems in the Russian space industry the *Relikt-2* mission was terminated. The major missions in the 1990–2000s were *RadioAstron* and *Phobos Sample Return*. Moreover the laboratory staff designed instruments for the Earth observations: radars for remote sensing of the sea surface, snow avalanches, as well as transceivers and locators.

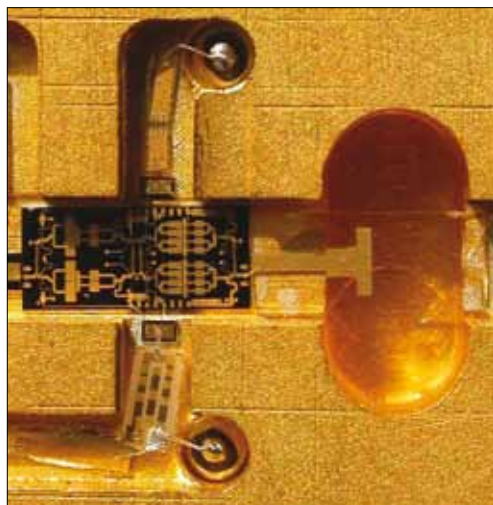


Аппаратура, созданная по проекту «РадиоАстрон»: приёмник в диапазоне 18–25 ГГц, малошумящий усилитель, двойной синтезатор, преобразователь частоты

Hardware designed for the RadioAstron mission: receiver in the range of 18...25 GHz, low-noise amplifier, double sequencer, frequency converter



Аппаратура для проекта «Луна-Ресурс»
Hardware for the Luna-Resurs mission



Приёмопередающий модуль и монолитный усилитель мощности, разработанные по государственному оборонному заказу с Государственным рязанским приборным заводом — дочерним предприятием Военно-промышленного комплекса МАПО (ГУП). Были освоены новые технологические решения — монолитные микросхемы миллиметрового диапазона длин волн

Transmit-receiver module and monolithic power amplifier developed by a government order in cooperation with the Ryazan State Instrument Plant, a subsidiary enterprise of the MAPO Military-Industrial Complex. New technological solutions were utilized — monolithic microcircuits of millimetre wavelength range

Приборы, проекты, результаты

В проекте «Фобос-Грунт» (запуск 2011 г.) лаборатория занималась подготовкой прибора USO (ультрастабильный осциллятор) для двух радиофизических экспериментов: «Небесная механика» и MROE. В первом из них планировалось провести прецизионные измерения параметров орбиты спутника Марса Фобоса. После посадки на Фобос прибор USO должен был излучать непрерывные сигналы на двух гармонически связанных частотах: 8,4 и 33,6 ГГц, — которые должны были приниматься на Земле. По этим данным предполагалось определить относительную скорость и угловые координаты прибора на Фобосе и таким образом вычислить его орбиту с высокой точностью. Эксперимент MROE по изучению ионосферы Марса путём радиопросвечивания между двумя КА планировалось проводить совместно с китайским микроспутником YH-1.

Для лунной программы (проекты «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс») лаборатория создаёт аппаратуру для радиофизических экспериментов: «Радиомаяк» для установки на посадочных лунных аппаратах и приёмник Ка-диапазона (ПКД) для орбитального аппарата и проведения эксперимента по изучению гравитационного поля Луны.

Для проекта «ЭкзоМарс» (запуск 2018 г.) планируется создать служебно-научный прибор ГАРС (генератор автономный радиосигналов) для проверки наземных станций приёма информации с орбитального аппарата по проекту «ЭкзоМарс» (запуск в 2016 г.).

Для будущего микроспутника «Чибис-АИ» создаётся прибор ПБК (передатчик быстрого канала), предназначенный для передачи научной информации на Землю и для проведения радиофизического эксперимента по исследованию ионосферы. Запуск микроспутника запланирован на 2016 г.



Instruments, Projects, Results

As part of the *Phobos Sample Return* mission (launched in 2011) the laboratory was responsible for the USO instrument (ultrastable oscillator) for two radiophysical experiments: “Celestial mechanics” and MROE. The former’s objective was to perform precision measurements of orbital parameters of Phobos. Following the landing the USO instrument was supposed to emit continuous signals on two harmonically related frequencies — 8.4 and 33.6 GHz — to be received on the Earth. Based on this data it was assumed to determine relative velocity and angular position of the instrument on Phobos and, as a result, to calculate its orbit with high precision. The MROE experiment on studying the Mars ionosphere via continuous electromagnetic transmission probing with two probes was expected to be conducted in cooperation with the Chinese microsatellite YH-1.

For the lunar program (missions *Luna-Glob* and *Luna-Resurs*) the laboratory designs instrumentation for radiophysical experiments: radio beacons to be installed on the lunar landers and a Ka-band receiver for the orbiter and the experiment of the gravity field of the Moon.

As part of the *ExoMars* mission (launch in 2018) it will design a scientific support instrument GARS (isolated signal generator) for verification of information reception by the earth-based stations from the orbiter (launch in 2016).

For the upcoming microsatellite *Chibis-AI* the laboratory designs an instrument PBK (short for “fast channel transmitter”) for transfer of scientific data to the Earth and conducting radiophysical ionosphere experiment.



Аппаратура, созданная по темам «Оперетка» и «Бронепоезд» (государственный оборонный заказ). Целью работы было создание прибора «Обнаружитель», который состоял из пассивного канала — приёмник (слева), и активного — радиолокатор (посередине). Справа — лабораторные испытания прибора на крыше ИКИ РАН



Instrumentation designed for the Operetka and Bronepoyezd (government defense order) projects. The goal was to create a detecting instrument, which consisted of a passive channel (receiver — left) and an active one (radio locator — right). On the right is the laboratory testing of the instrument on the roof of IKI

Сектор субмиллиметровой и инфракрасной астрономии (64.6) (руководитель — Игорь Маслов)

Сектор (первоначально — лаборатория) субмиллиметровой и инфракрасной астрономии образовалась в ИКИ РАН в начале 1970-х гг. в отделе **И. С. Шкловского**. После его смерти и образования АКЦ ФИАН она превратилась в лабораторию субмиллиметровой техники в составе отдела прикладной астрофизики. С самого начала лабораторией руководил д-р физ.-мат. наук **Геннадий Борисович Шоломицкий**. Им с сотрудниками ИКИ, ГАИШ и отраслевых институтов были разработаны охлаждаемые фотометры субмиллиметрового диапазона и проведены астрономические исследования межзвёздной пыли и характеристик земной атмосферы на волнах от 1,4 мм до 340 мкм на высокогорных и самолётных телескопах. Проводились работы по созданию охлаждаемых космических телескопов для обзоров неба в субмиллиметровом, инфракрасном и видимом диапазонах.

Сейчас основное направление работ сектора — исследование астрономическими методами свойств и распределение пыли в космосе и атмосфере Земли с помощью фотометрических и поляризационных наблюдений.

Основные направления

- Фотометрические наблюдения звёзд и комет в инфракрасном диапазоне спектра;
- широкоугольные поляризационные наблюдения в оптическом диапазоне;
- исследование мазерных источников.

Широкоугольные поляризационные измерения фона сумеречного неба начались в 2011 г. с помощью поляризационной камеры, разработанной сотрудниками отдела. Сегодня это единственный в мире инструмент, позволяющий одновременно получать данные о поляризации всех точек неба до зенитного расстояния в 70°. Этот инструмент позволяет проводить температурный мониторинг мезосферы Земли (от 70 до 85 км). Это крайне актуально в связи с быстрым похолоданием этих слоёв атмосферы, которое, возможно, связано с антропогенными причинами — радиационным охлаждением на парниковых газах, прежде всего, CO₂. Кроме этого, поляризационный анализ позволяет регистрировать появление частиц пыли в мезосфере. Максимум этого эффекта в летний период наблюдался в августе 2013 г., в эпоху активности метеорного потока Персеиды

The wide-angle polarization measurements of twilight background commenced in 2011 assisted by a polarization camera designed by the department staff. Today it is the world's only instrument that enables to simultaneously obtain polarization data from all points in the sky up to coaltitude of 70°. The instrument can monitor temperature of the Earth mesosphere (70 to 85km). This is highly relevant due to rapid cooling of these atmospheric layers, which is likely related to anthropogenic reasons — radiation cooling associated with greenhouse gases, most notably, CO₂. Moreover the polarization analysis enables to record appearance of dust particles in the mesosphere. The effect's maximum was observed in August 2013, during activity of the Perseids meteoric shower

Submillimeter and Infrared Astronomy Sector (64.6). Head — Igor Maslov

The sector (initially a laboratory) was established in IKI in the early 1970s in the department of **Iosif S. Shklovsky**. Following his death and foundation of the AstroSpace Center it became a laboratory of submillimeter equipment as part of the Department of Applied Astrophysics. In the beginning it was headed by Dr. **Genady B. Sholomitsky**. Together with the employees of IKI, SAI, and sectoral research institutes they designed the cooled submillimeter-wave photometer conducted studies of interstellar dust and the Earth's atmospheric properties on 1.4 mm to 340 μ m with high-altitude and airborne telescopes. It also worked to create cooled space telescopes to survey the sky in submillimeter, infrared and visible ranges.

Today the main line of work of the department is astronomical research of dust properties and distribution in space and the Earth atmosphere with photometric and polarization observations.

Research Areas

- Photometric observations of stars and comets in the infrared spectrum;
- wide-angle polarization observations in the optical spectrum;
- maser source studies.



Игорь Маслов
Igor Maslov



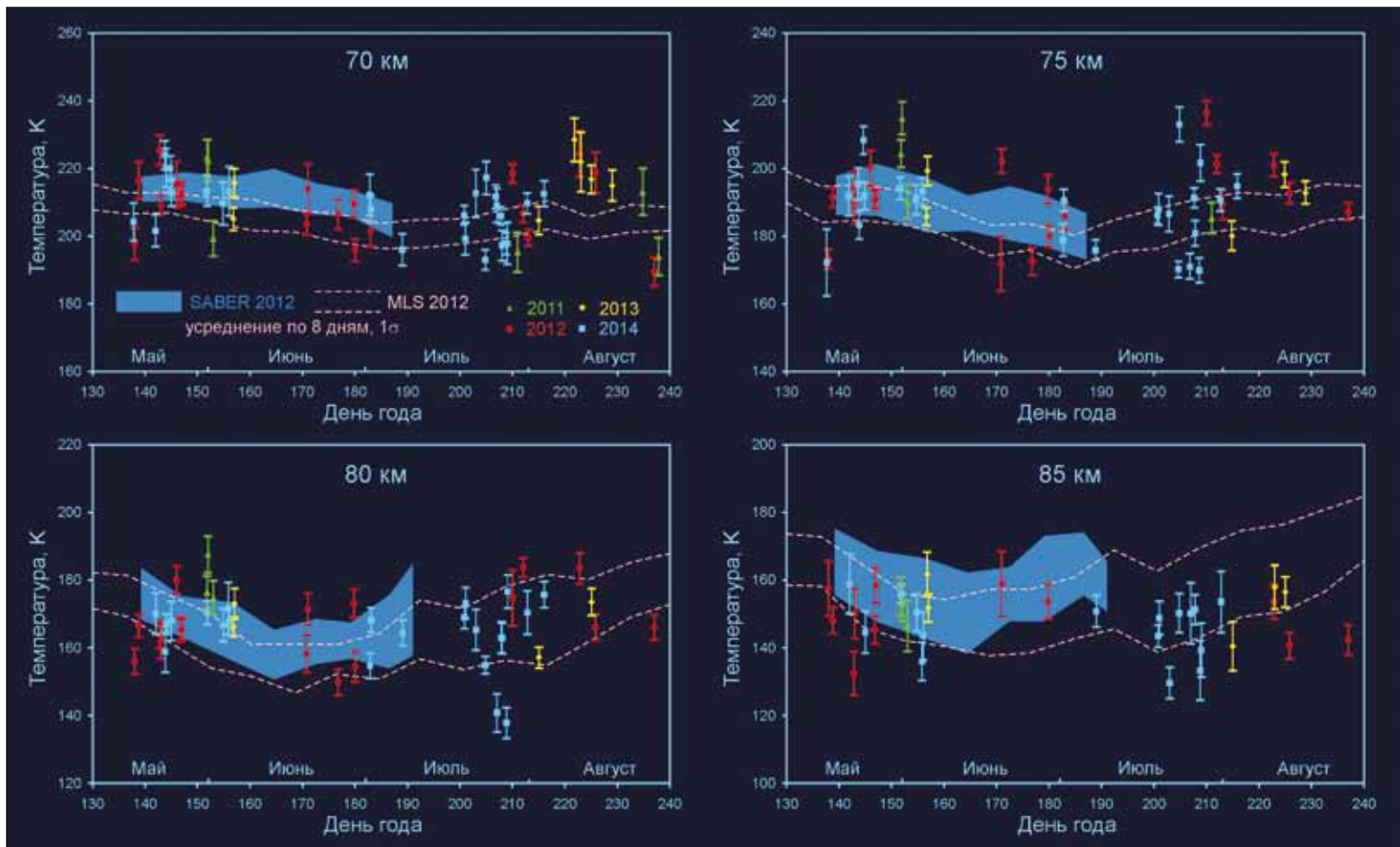
Г. Б. Шоломицкий
G. B. Sholomitsky



Баллоны с жидким гелием возле башни 70-сантиметрового телескопа, подготовленные для проведения астрономических наблюдений на высоте 4350 м. Экспедиция ГАО и ИКИ АН СССР. Восточный Памир (пос. Шорбулак, Таджикская ССР), февраль 1983 г.

Liquid helium tanks near a 70-cm telescope housing arranged for astronomical observations at a height of 4,350 m. Central Astronomical Observatory and IKI expedition. Eastern Pamir (settlement Shorbulak, Tadjik Soviet Socialist Republic), February 1983





Результаты измерения температур в мезосфере по сравнению со спутниковыми данными (эксперимент SABER на спутнике TIMED и эксперимент MLS на спутнике EOS Aura, NASA)

Measurement results of the mesosphere temperatures compared to the satellite data (SABER experiment on the TIMED satellite and MLS experiment on the EOS Aura satellite, NASA)