

**ОТДЕЛ ФИЗИКИ  
КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ  
(54)  
SPACE PLASMA PHYSICS  
DEPARTMENT  
(54)**



**Руководитель — д-р физ.-мат. наук,  
член-корреспондент РАН  
Анатолий Петрукович**

*Head — RAS correspondent member  
Dr. Anatoly Petrukovich*

Физика космической плазмы — одно из основных направлений теоретических и экспериментальных исследований ИКИ. Плазма — основной компонент околоземного пространства, магнитосферы и ионосферы, межпланетной среды, атмосферы Солнца. Именно плазменные процессы управляют солнечной активностью и её следствиями — геомагнитной активностью на Земле (т.н. «космической погодой»). Разреженную плазму Солнечной системы практически невозможно ни зарегистрировать с Земли, ни получить в земной лаборатории. Только с началом космической эры, уже на первых спутниках, были открыты радиационные пояса Земли, плазмосфера и магнитный хвост магнитосферы, солнечный ветер. Сейчас такие наблюдения в Солнечной системе ведутся с борта десятков космических аппаратов.

Плазма — наиболее активное состояние вещества во Вселенной и именно плазменные процессы определяют излучение от астрофизических объектов. Однако объекты дальнего космоса мы можем наблюдать только «со стороны». Поэтому околоземное пространство, достижимое с помощью космических аппаратов, — это и уникальная естественная лаборатория, в которой можно изучать законы, управляющие динамикой космической плазмы, находясь непосредственно внутри среды.

В центре внимания исследований находятся следующие ключевые темы физики космической плазмы и космической погоды:

- преобразование энергии в солнечных вспышках;
- структура и динамика солнечного ветра;
- механизмы ускорения заряженных частиц;
- структура и динамика бесстолкновительных ударных волн;
- происхождение турбулентности и её влияние на процессы переноса, взаимодействие волн и частиц;
- конфигурация и динамика магнитосферы в ходе бурь и суббурь;
- механизмы магнитного пересоединения;
- магнитосферно-ионосферно-атмосферные связи;
- плазменные оболочки планет и безатмосферных тел Солнечной системы.

Основу подразделений Института, занимавшихся плазменной тематикой, составили несколько научных групп, перешедших в ИКИ в первые годы его существования: Ю. И. Гальперина, О. В. Вайсберга, К. И. Грингауза, И. М. Подгорного, Г. А. Скуридина, Н. Л. Григорова и Н. Ф. Писаренко. В современном виде отдел физики космической плазмы был сформирован в 1985 г. Его первым руководителем стал **Альберт Абубакирович Галеев**, а после его назначения директором в 1988 г. — Лев Матвеевич Зеленый.

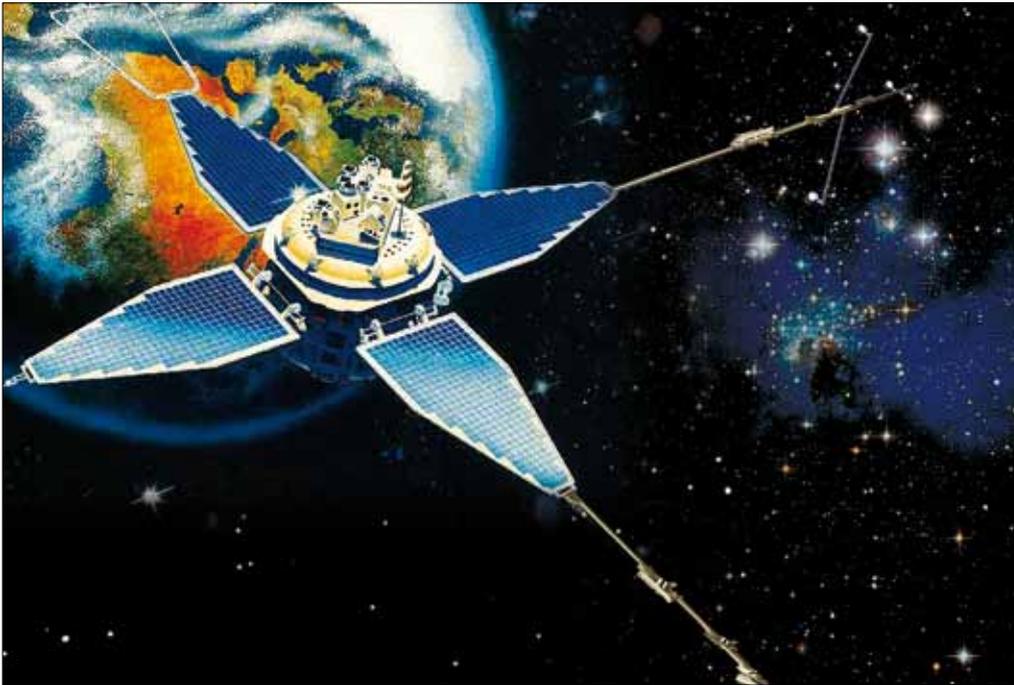
Space plasma physics is one of the main directions of IKI's theoretical and experimental research. Plasma is the main component of the near-Earth space, the magnetosphere and ionosphere, interstellar medium and solar atmosphere. The plasma processes drive the solar activity and its consequences — the geomagnetic activity on the Earth (the so-called space weather). The rarefied plasma of the Solar system can neither be recorded from the Earth nor obtained in the ground laboratory. Only with the beginning of the space era, already on the first satellites, radiation belts, plasmasphere, magnetosphere tail, and solar wind were discovered. Today such observations in the Solar system are conducted with dozens of spacecraft.

Plasma is the most active state of the matter in the Universe and these are the plasma processes that determine radiation from the astrophysical objects. But the far space objects can be studied only remotely. That is why the near space, which the spacecraft can reach, is also a unique natural laboratory where the laws governing the space plasma dynamics can be studied while being directly inside of this medium.

Following topics of space plasma physics and space weather are in the focus of department attention:

- energy conversion in solar flares;
- structure and dynamics of the solar wind;
- mechanisms of charged particles acceleration;
- structure and dynamics of collisionless shocks;
- turbulence origin and its influence on the transport processes, interaction of waves and particles;
- configuration and dynamics of the magnetosphere in the course of storms and substorms;
- mechanisms of magnetic reconnection;
- magnetosphere-ionosphere-atmosphere connections;
- plasma envelopes of planets and atmosphereless bodies of the Solar system.

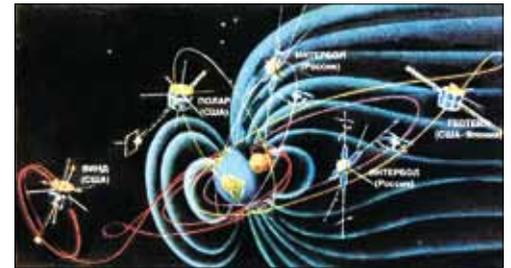
The basis of the Institute's divisions dealing with plasma topics was made up of several scientific groups which joined IKI in the first years of its existence. It's modern form the space plasma physics department acquired in 1985. Its first head was **Albert A. Galeev** and when he was appointed a director in 1988, the department was headed by Lev Zelenyi.



Спутник ИНТЕРБОЛ-2  
Interball 2 spacecraft



Эмблема проекта ИНТЕРБОЛ  
Project Interball insignia



Орбиты спутников международной программы IASTP  
IASTP constellation of spacecraft

С 2010 г. заведует отделом А.А. Петрукович. В 2013 г., после реорганизации, в отдел вошла лаборатория инженерно-технического обеспечения экспериментов и проектов.

Сотрудники отдела принимали участие в работах практически по всем советским и российским проектам плазменной и планетной тематики: «Интеркосмос», «Космос», «Прогноз», автоматическим межпланетным станциям «Луна», «Венера», «Марс», «Фобос», космическим станциям «Салют», «Мир», МКС и др.

Вехой современной истории отдела стал международный проект ИНТЕРБОЛ для многоточечных исследований магнитосферы Земли и солнечно-земных связей (1995–2000). Он состоял из двух спутников: «Интербол-1» («Хвостовой Зонд») и «Интербол-2» («Авроральный Зонд») — и двух субспутников («Магион»). Научная аппаратура создавалась в рамках обширной научной кооперации более 20 стран и включала магнитометры, приборы для измерения плазменных волн и спектрометры заряженных частиц. Проект ИНТЕРБОЛ стал частью Межагентской исследовательской программы по солнечно-земной физике IASTP и занял достойное место в уникальном «созвездии» спутников, работающих в это время на орбите: Wind, Polar, SOHO, Geotail (NASA, ESA, JAXA).

Since 2010 A.A. Petrukovich has been the department's head. In 2013 after the reorganization, the laboratory of the engineering support of projects and experiments was included into the department.

The department's staff members were participating in almost all the Soviet and Russian plasma and planetary projects: *Intercosmos*, *Cosmos*, *Prognoz*, automatic interplanetary stations *Luna*, *Venera*, *Mars*, *Phobos*, space stations *Salyut*, *Mir*, *ISS*, and others.

The *Interball* international project for multi-point studies of the Earth's magnetosphere and solar-terrestrial relations (1995–2000) has become a milestone of the department's modern history. The project included two satellites: *Interball-1* (*Tail Probe*) and *Interball-2* (*Auroral Probe*) and two subsatellites (*Magion*). The scientific hardware was constructed by the extensive scientific cooperation of more than 20 countries and included magnetometers, instruments to measure plasma waves and spectrometers of charged particles. The *Interball* project has become a part of the InterAgency Solar-Terrestrial Physics Program (IASTP) with the unique constellation of satellites operating on orbit at that time: *Wind*, *Polar*, *SOHO*, *Geotail*, etc. (NASA, ESA, JAXA).

В эти годы произошёл значительный скачок в качестве и количестве наблюдательных данных, полученных благодаря усовершенствованию научной аппаратуры и непрерывным одновременным измерениям многих спутников. На основе данных, полученных спутниками «Интербол», было опубликовано более 500 научных статей, большинство из которых были написаны в рамках международного научного сотрудничества.

Этот проект, как и более ранний проект ВЕГА, заложили основу активного участия коллектива отдела в работах по комплексному анализу данных в международной кооперации, успешно продолжающегося до сих пор, в том числе по проектам Cluster (ЕКА), THEMIS (NASA), SDO (NASA) и многих других.

В настоящее время сотрудники отдела ведут теоретические исследования и численное моделирование процессов в космической плазме; анализ и интерпретацию наблюдательных данных российских и международных космических и наземных экспериментов; разработку и реализацию космических и наземных экспериментов, создание научной аппаратуры; разработку и внедрение методов мониторинга и прогноза космической погоды.

В последние несколько лет на орбите находились следующие эксперименты отдела:

- микроспутник «Чибис-М» для исследования физических процессов в атмосфере и ионосфере Земли при грозовых разрядах (2012–2014);
- волновой комплекс для исследования атмосферных транзиентов (в составе научной нагрузки МКА «Вернов», 2014);
- комплекс «Плазма-Ф» для исследования солнечного ветра (в составе научной нагрузки КА «Спектр-Р», 2011);
- комплекс «Обстановка» для исследования плазменного окружения МКС (начало эксперимента 2013 г.)

В стадии разработки находятся следующие проекты:

- «Резонанс» (запуск 2018 г.) — многоспутниковый проект для исследований внутренней магнитосферы Земли;
- «Странник» (запуск 2019 г.) — малый космический аппарат для исследований мелкомасштабных процессов во внешней магнитосфере и солнечном ветре;
- «Ионозонд» (запуск 2019 г.) — многоспутниковый проект для мониторинга ионосферы;
- «Интергелиозонд» (запуск 2021 г.) — космический аппарат для исследований внутренней гелиосферы и Солнца.

Приборы в составе научной нагрузки планетных КА: «Луна-Глоб», «Луна-Ресурс-Орбитальный» и «Луна-Ресурс-Посадочный»; «ЭкзоМарс» (Роскосмос/ЕКА; запуск 2018 г.); «Бепи Колombo» (ЕКА/JAXA).

During those years leap forward was done in the quality and quantity of the observational data due to scientific instrument improvement and continuous measurements by many satellites. Based on the *Interball* project observations more than 500 scientific papers were published, most of them in international scientific collaboration.

This project, as well as the earlier *Vega* project, has become the basis for current active participation of the department in complex data analysis in the frame of international cooperation, in particular with *Cluster* (ESA), THEMIS (NASA), SDO (NASA) projects.

Today, the department's staff is conducting theoretical studies and numerical modeling of processes in the space plasma; analysis and interpretation of the observational data from the Russian and international space and ground experiments; development and implementation of space and ground experiments, development of scientific instruments, development of the space weather monitoring and forecast methods.

During last several years following experiments of the department were operating in orbit:

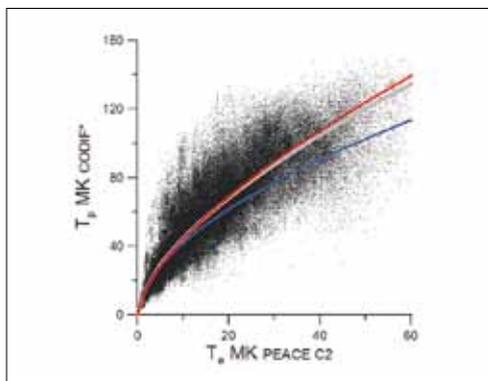
- the *Chibis-M* microsatellite to study physical processes in the Earth's atmosphere and ionosphere during the storm discharges (2012–2014).
  - wave instrument suite to study atmospheric transients onboard the MKA *Vernov* spacecraft (2014).
  - *Plasma-F* experiment for solar wind research (*Spektr-R*, launched in 2011)
  - *Obstanovka* instrument suite for studies of ISS plasma environment (aboard the ISS, the experiment started in 2013)
- Projects in development are:
- *Resonance* (to be launched in 2018) multisatellite mission to study the Earth's inner magnetosphere
  - *Strannik* (to be launched in 2019) small spacecraft to study small-scale processes in the Earth's outer magnetosphere and solar wind
  - *Ionozone* (to be launched in 2019) multisatellite mission to monitor the Earth's ionosphere
  - *Interhelioprobe* (to be launched in 2021) to study inner heliosphere and the Sun
  - Instruments included in the scientific payload onboard interplanetary stations *Luna-Glob*, *Luna-Resurs-Orbiter*, and *Luna-Resurs-Lander*; *ExoMars* (Roscosmos/ESA, 2018); *BepiColombo* (ESA/JAXA, 2017)

**Лаборатория теории плазменных процессов в космической среде (541) (руководитель — д-р физ.-мат. наук Давид Шкляр)**

Лаборатория — одна из системообразующих в ИКИ с момента его формирования. Выдающимися теоретиками плазмы являются бывшие и нынешний директора Института Р. З. Сагдеев, А. А. Галеев и Л. М. Зеленый. Основная тематика лаборатории — аналитические исследования, численное моделирование и анализ экспериментальных данных. За годы существования её сотрудники получили целый ряд фундаментальных результатов по теории токовых слоёв и магнитному пересоединению, квазиadiaбатической динамике заряженных частиц, по фрактальной структуре плазменной турбулентности.

**Основные объекты исследований в настоящее время**

- Плазменные неустойчивости, распространение излучений в околоземном космическом пространстве, околопланетной, солнечной и межпланетной плазме;
- резонансное взаимодействие волн и частиц в магнитосфере;
- структура и динамика магнитоплазменных объектов: токовых слоёв, ударных волн и пр.);
- турбулентность и ускорение частиц.



Экспериментально изучены и теоретически объяснены структура и динамика токового слоя хвоста магнитосферы Земли, распределения температуры и анизотропии электронов, магнитного поля  $B_z$  в хвосте магнитосферы вдоль токового слоя по данным спутниковых проектов Cluster (EКА) и THEMIS (NASA). Анализ спутниковых данных позволил получить эмпирические соотношения между температурой электронов, температурой ионов и вертикальной компонентой магнитного поля  $B_z$ :  $T_e/T_i = 2$  кэВ/7 нТл,  $T_e = 11T_i^{0.62}$

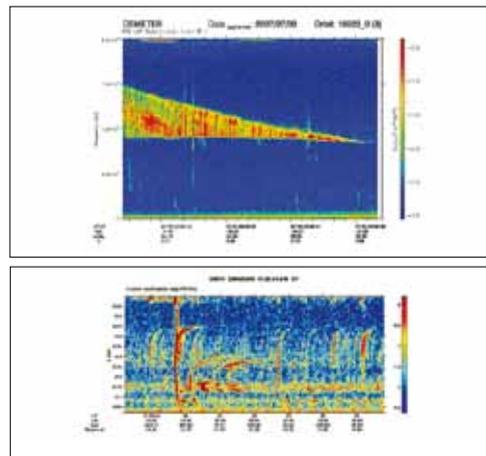
The structure and dynamics of the current sheets in the Earth's magnetospheric tail, temperature distributions and electron anisotropy, were examined experimentally and explained theoretically basing on the data of the CLUSTER (ESA) and THEMIS (NASA) projects. The empirical relation between the electron temperature, ion temperature and the vertical component of the  $B_z$  magnetic field were obtained:  $T_e/B_z = 2$  keV/7 nT,  $T_e = 11T_i^{0.62}$

**Laboratory of Theory of Plasma Processes in the Space Medium (541). Head — Dr. David Shklyar**

The laboratory is one of the cornerstones of IKI since its establishment. The former and current Institute directors R. Z. Sagdeev, A. A. Galeev and L. M. Zelenyi are the distinguished plasma theoreticians. The primary subject of the laboratory is analytical investigations, numerical modeling and analysis of the experimental data. Over the years a whole range of fundamental results was obtained for the theory of current sheets and magnetic reconnection, quasi-adiabatic dynamics of charged particles, fractal structure of plasma turbulence, etc.

**Current research areas**

- Plasma instabilities, wave emission propagation in the near-Earth space, planetary, solar and interplanetary plasma;
- resonant wave-particle interactions in the magnetosphere;
- structure and dynamics of magneto-plasma objects: current sheets, shocks etc;
- turbulence and particle acceleration.

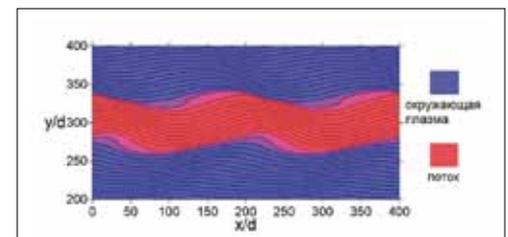
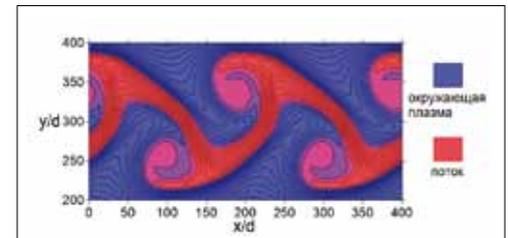


В последние годы активно шли обработка и анализ волновых данных проектов «Интербол», DEMETER (Франция). В этих исследованиях было обнаружено и объяснено новое волновое явление в ОНЧ-диапазоне — клиноподобные спектры, с резкими нижней и верхней частотами обрезания. Кроме того, на основе шестикомпонентных волновых измерений спутника DEMETER выполнено исследование трансэкваториальных протонных свистов, в том числе впервые зарегистрированных ионосферно-отражённых протонных свистов, наблюдаемых на низких широтах

In the recent years, the wave observations from the Interball and DEMETER (France) projects were actively analyzed. The new wave phenomenon in the VLF band — wedge-like spectra with sharp lower and upper frequency cutoff was discovered and explained. Additionally, using the six-component wave measurements from the DEMETER satellite the trans-equatorial proton whistlers were examined including ionospherically reflected proton whistlers observed at low latitudes



Давид Шкляр  
David Shklyar



Детально проанализировано развитие неустойчивости Кельвина-Гельмгольца (К-Г), играющей важную роль в динамике переходных областей. Неустойчивость К-Г — вероятный механизм генерации низкочастотных длинноволновых колебаний магнитного поля в пограничной области плазменного слоя, которые движутся по направлению к Земле вместе с высокоскоростными потоками плазмы. Характерные длины волн и частоты колебаний, полученные аналитически, находятся в хорошем согласии с данными спутниковых наблюдений. С использованием современных численных методов впервые показано, что в сверхзвуковом потоке плазмы возможно развитие крупномасштабной вихревой структуры

The Kelvin-Helmholtz instability (KH), which plays an important role in the dynamics of transient regions, was analyzed in detail. The KH instability is a probable mechanism of generation of the low-frequency long wavelength oscillations of the magnetic field in the boundary region of the plasma sheet, which moves towards the Earth together with high-speed plasma flows. The characteristic wavelengths and oscillation frequencies obtained analytically match the observational data. The use of the modern computational methods helped to show that a large-scale vortex structure can be generated in the supersonic plasma, as can be seen in the image

**Анатолий Петрукович**  
Anatoly Petrukovich



**Лаборатория ускорительных процессов в космической плазме и космической погоды (542)** (руководитель — д-р физ.-мат. наук член-корреспондент РАН Анатолий Петрукович)

Лаборатория ведёт свою историю от сектора солнечных космических лучей, сформированного в 1967 г. и возглавлявшегося Н. Ф. Писаренко. Специализацией лаборатории стали экспериментальные исследования солнечных космических лучей, коротковолновой солнечной радиации, частиц радиационных поясов Земли, энергичной плазмы магнитосферы.

**Laboratory of Acceleration Processes in Space Plasma and Space Weather (542).** Head — RAS correspondent member Dr. Anatoly Petrukovich

The laboratory dates back to the division of solar cosmic rays established in 1967 and headed by N. F. Pisarenko. The laboratory speciality were experimental studies of solar cosmic rays, short wavelength solar radiation, radiation belts, energetic plasma of the magnetosphere.

**Тематика современных работ**

- динамики и ускорения энергичных частиц плазмы в околоземном космическом пространстве, околопланетной, солнечной и межпланетной среде;
- методов и средств мониторинга и прогноза космической погоды;
- динамики солнечной короны и ускорения солнечных космических лучей;
- влияния космической погоды на биосферу Земли;
- динамики магнитосферы Земли.

Очень интересные результаты по космической радиации были получены уже при первых запусках. Было показано, что динамика потоков солнечных космических лучей может быть рассмотрена как диффузия частиц на неоднородностях солнечного ветра, была вычислена зависимость коэффициентов диффузии от энергии частиц.

Спектрометрия энергичных частиц высокого разрешения проводилась в сотрудничестве с чехословацкими коллегами. При изучении зарядового и изотопного состава частиц от солнечных вспышек в диапазоне 5...100 МэВ приборами И-1 («Прогноз-5»), ТР-2 («Прогноз-6» и «Интеркосмос-17») и ТР-3 («Прогноз-8») было оценено содержание  $He^3$  (обычно  $He^3/He^4 < 0,02$ ) и выявлены его сильные вариации, что свидетельствует о динамичных режимах ускорения космических лучей в солнечной короне.

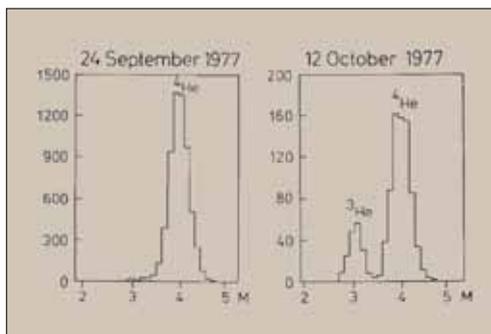
Целью эксперимента ДОК-2 проекта «Интербол» («Хвостовой зонд») было изучение спектров энергичных частиц (20...800 кэВ) во внешней магнитосфере с существенным увеличением спектрального и временного разрешения. В результате обнаружено принципиально новое явление — пучки почти моноэнергетических ионов (ПМИ) около ударной волны и в переходной области. В спектре они представлены 2-3 узкими линиями с отношением энергий 1:2:(5-6), что соответствует ионам  $H^+$ ,  $He^{+2}$  и группе ионов (C, N, O) $^{+(5-6)}$ . Предложенное объяснение ПМИ связывает их с разрывами токовых слоёв, образующих границы в плазме, например при столкновении токового слоя в солнеч-

**Modern research**

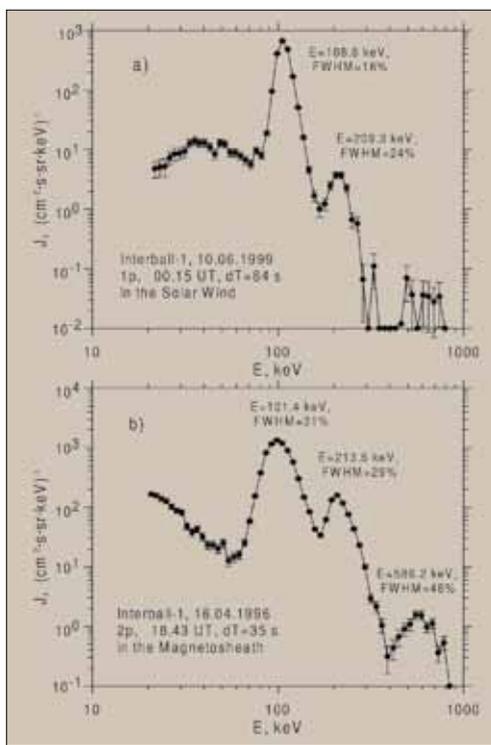
- dynamics and acceleration of energetic particles in the near-Earth space, planetary, solar and interplanetary plasmas;
- methods and means of the space weather monitoring and forecast;
- solar corona dynamics and solar cosmic rays acceleration;
- space weather influence on the Earth's biosphere;
- Earth's magnetosphere dynamics.

Interesting results were obtained already in the very first launches. Dynamics of solar cosmic rays fluxes was proved to be diffusion on solar wind inhomogeneities. The dependence of diffusion coefficient on particles' energy was calculated.

Energetic particle spectrometry of high resolution was performed in collaboration with the Czech and Slovak colleagues. The charge and isotopic composition of the particles from the solar flares within 5...100 MeV was revealed using I-1 (*Prognoz 5*), TR-2 (*Prognoz 6* and *Interkosmos 17*) and TR-3 (*Prognoz 8*) instruments. Nominally the  $He^3$  content is  $He^3/He^4 < 0,02$ , but its strong variations were found.



**Эксперимент ТР-2 («Прогноз-6»). Изотопный состав He в энергичных частицах ( $E = 6...30$  МэВ/нук) для «нормальной» и «аномальной» солнечных вспышек**  
TR-2 experiment (*Prognoz-6*). The He isotopic composition in energetic particles ( $E = 6...30$  MeV/nucleon) for the normal and anomalous solar flares



**Спектры ПМИ перед фронтом ударной волны и в переходной области**  
AMI spectra in front of the shock and in the transition region

ном ветре с ударной волной. В зонах разрыва формируются очень сильные электрические поля, в которых ионы ускоряются до энергий, пропорциональных их заряду.

Тематика **группы гелиобиологии** — экспериментальные исследования воздействия космической и земной погоды на биологические объекты и людей на Земле и в космосе. Группа активно сотрудничает с медицинскими и научными центрами по всей России. Показано, что ритмическая структура биологических объектов повторяет ритмы солнечной и геомагнитной активности и их динамику на всех уровнях биологических систем: от клеточного до популяционного. В частности, обнаружены эффекты воздействия геомагнитных пульсаций. Реакция биологических объектов на воздействие геомагнитной активности имеет характер адаптивного стресса и метеотропных реакций. Показано, что имеются группы риска, в которых проявления эффектов воздействия космической и земной погоды наиболее выражены. Разработаны различные методы профилактики для предотвращения метеотропных реакций у больных и здоровых людей. Начаты исследования воздействия гипомангнитного поля, приближённого по значениям к межпланетному полю и полю немагнитных планет на человека.

По тематике космической погоды в лаборатории разрабатываются методы прогноза эффектов космической радиации; методы и приборы для наблюдений авроральной активности; методы прогноза геомагнитной активности, в том числе по солнечному ветру. Создан веб-ресурс для прогнозов <http://www.spaceweather.ru>.

**Солнечная группа** — молодёжный коллектив, сформировавшийся в лаборатории несколько лет назад, его научные интересы включают динамику и энергетическое выделение вспышек, ускорение и распространение заряженных частиц на Солнце и в гелиосфере; магнитные поля в активных областях Солнца; волны в солнечной короне. Сотрудники

The objective of *Interball* DOK-2 experiment was investigation of energetic particle spectra (20...800 keV) in the outer magnetosphere with a considerable increase of the spectral and time resolution. The research results show a bright new phenomenon — beams of almost monoenergetic ions (AMI) near the shock and in the transition region. In the spectrum they are seen as 2-3 narrow lines with 1:2:(5-6) energy ratios which corresponds to  $H^+$ ,  $He^{+2}$  ions and the ion group  $(C, N, O)^{+(5-6)}$ . The proposed explanation of AMI associates them with the disruptions of solar wind current sheets as they hit the shock. Very strong electric fields in the disruption zone accelerate ions to the energies proportional to their charge.

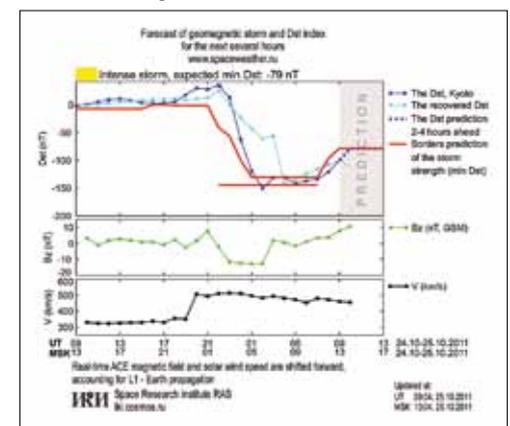
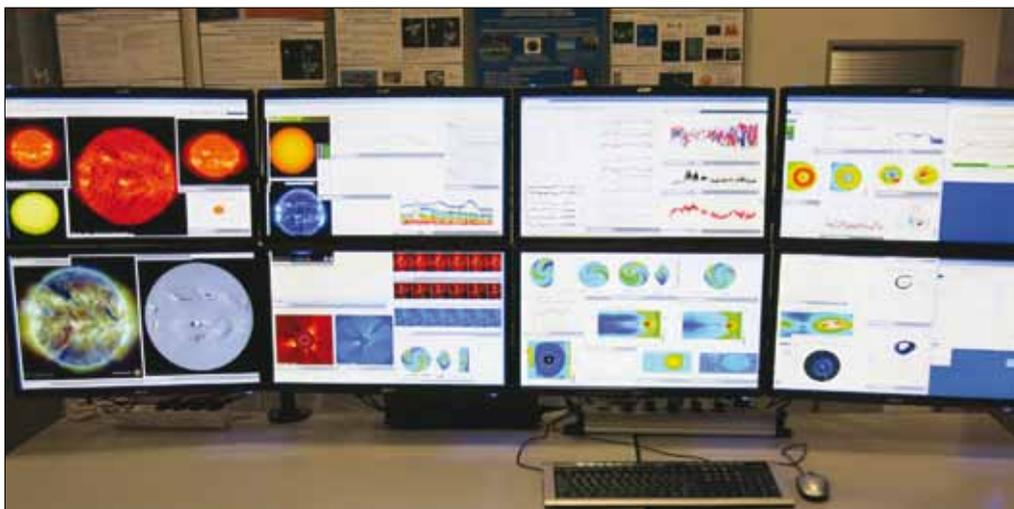
The subject of the **heliobiology group** is experimental investigation of space and Earth's weather influence on the biological objects and humans on the Earth and in the space. The group is in active collaboration with many medical and scientific centers throughout Russia. It was shown that the rhythmic structure of biological objects mirrors the rhythms of the solar and geomagnetic activity at all levels of the biological systems: from the cellular to the population level. In particular, the effects of geomagnetic pulsations were discovered. The response of biological objects to the geomagnetic activity is similar to adaptive stress and meteorotropic reaction. It was shown that there exist the risk groups in which the effects of space and Earth's weather manifest themselves at most. Various methods of prophylaxis to circumvent meteorotropic reactions among both the sick and the healthy people were developed. The research of the hypomagnetic field (with amplitudes similar to that in interplanetary space and nonmagnetic planets) on humans was started.

## Группа гелиобиологии

### Heliobiology Group

#### Стенд визуализации текущего состояния космической погоды

Visualization facility for space weather monitoring



**Солнечная группа**

**Solar group**



**Прибор МЭП (монитор электронов и протонов)**  
MEP (Monitor for Electrons and Protons)

имеют опыт работы с данными большинства космических аппаратов и наземных телескопов, наблюдающих Солнце и гелиосферу. Показано, что квазипериодические пульсации жёсткого рентгеновского излучения солнечных вспышек могут быть следствием последовательных актов энерговыделения и ускорения электронов в различных магнитных петлях вспышечной области. Подтверждена гипотеза о том, что частотное расщепление солнечных радиовсплесков II типа может быть следствием генерации радиоизлучения впереди и позади поршневой ударной волны, вызванной движением выброса массы. Установлен основной механизм возбуждения высокоамплитудных затухающих изгибных осцилляций корональных магнитных петель, связанный с взаимодействием петель с выбросом массы в нижней солнечной короне.

В настоящее время на орбите работает эксперимент МЭП в составе комплекса «Плазма-Ф» на КА «Спектр-Р», предназначенный для исследований энергичных электронов и протонов во внешней магнитосфере Земли с рекордным временным разрешением. Прибор создан в сотрудничестве со словацкими и греческими специалистами. Ведётся разработка новых приборов для проектов «Резонанс» (приборы «ДОК-М», «РЭМ»), «Странник» («ДОК-МС»), «Луна-Ресурс» («АСПЕКТ-Л»), «Ионозонд» («Летиция»). В инициативном порядке разрабатываются приборы для мониторинга космической погоды, микро- и наноспутников.

As a part of space weather research laboratory develops the prediction methods for geomagnetic activity, space radiation; methods and instruments for auroral activity observations; a web-page for prediction center is <http://www.spaceweather.ru>.

The **solar group** is a team of young scientists formed in the laboratory several years ago, the field of their scientific interest includes flare dynamics and energy release, charged particles acceleration on the Sun and in the heliosphere; magnetic fields in the solar active regions; waves in the solar corona. The staff members have experience of data analysis for the most of spacecraft and ground telescopes observing the Sun and the heliosphere. It was shown that quasi-periodic pulsations of the hard X-rays of the solar flares can be a consequence of successive acts of energy release and electron acceleration in various magnetic loops in the flare region. The hypothesis that the frequency splitting of type II solar radio bursts may be the consequence of radio waves in front of and behind the piston shock wave induced by the mass ejection was confirmed. The primary generation mechanism of high-amplitude flapping oscillations of the coronal magnetic loops associated with the mass ejection in the lower solar corona was suggested.

MEP instrument (abbreviated *Monitor for Electrons and Protons* within the *Plasma-F* experiment aboard the *Spectr-R* spacecraft, launched in 2011) is currently operating in orbit, and is designed to observe energetic electrons and protons in the Earth's outer magnetosphere with a record time resolution. New instruments for the *Resonance* project (DOK-M, REM), *Strannik* project (DOK-MS), *Luna-Resurs* project (ASPECT-L), *Ionozond* project (*Leticia*) are now in the development phase. The laboratory also initiated development of instruments for space weather monitoring, micro- and nano-satellites.

**К. И. Грингауз**  
(05.07.1918–10.06.1993)  
Konstantin Gringauz  
(July 5, 1918 — June 10, 1993)



**Лаборатория исследований околопланетной и межпланетной плазмы (544) (руководитель — д-р физ.-мат. наук Михаил Веригин)**

**Laboratory for Planetary and Interplanetary Plasma Research (544). Head — Dr. Mikhail Verigin**

**Михаил Веригин**  
Mikhail Verigin



История коллектива лаборатории началась до появления ИКИ в 1950 г., когда в НИИ-885 (сейчас НИИ космического приборостроения) была образована лаборатория радиотехнологии под руководством **Константина Иосифовича Грингауза** (05.07.1918–10.06.1993). Её сотрудники участвовали практически во всех ракетных и спутниковых экспериментах начала космической эры. Для

The history of the laboratory started in 1950 before IKI was founded, when in NII-885 (now JSC Russian Space Systems) the laboratory of radio technology was established under the direction of **K. I. Gringauz**. The laboratory's staff members were participating in almost all rocket and satellite experiments at the dawn of the space era. The laboratory developed radio transmitters to broadcast the famous beep-tone

Первого спутника в лаборатории были разработаны и построены радиопередатчики, транслировавшие знаменитые «бип-бип», а также передававшие информацию о температуре и давлении внутри гермоконтейнера.

В числе двенадцати экспериментов на третьем спутнике (1958) был и эксперимент D-111 лаборатории К.И. Грингауза. Около 10 000 спектров, полученных в его ходе, надёжно подтвердили выводы, сделанные по экспериментам на геофизических ракетах, о достаточно высокой ( $\sim 10^5 \text{ см}^{-3}$ ) концентрации заряженных частиц много выше максимума ионосферного слоя  $F_2$ .

В результате измерений потоков заряженных частиц на АМС «Луна-1, -2, -3» и «Венера-1» было открыто существование ранее неизвестной границы области холодной околоземной плазмы — плазмосферы, называемой в настоящее время плазмапаузой. В этих же экспериментах было открыто существование и впервые измерены потоки ионов корпускулярного излучения Солнца — солнечного ветра. Признанием этих заслуг стала Ленинская премия, присуждённая К.И. Грингаузу в 1960 г.

Первые непосредственные измерения нейтрального газа и плазмы в коме кометы Галлея были проведены в 1986 г. на КА «ВЕГА-1 и -2». Эти измерения, а также обнаружение торможения солнечного ветра и ударной волны, возникших в результате нагружения потока кометными ионами, позволили оценить скорость потерь водяного пара с поверхности ядра как  $\sim 40 \text{ т/с}$ . Ближе к кометному ядру была открыта ещё одна не предсказанная теоретически резкая граница — кометопауза. В 1986 г. за успехи проекта ВЕГА К.И. Грингауз был награждён Государственной премией СССР.

В лаборатории разработана количественная полуэмпирическая модель положения и формы околопланетных ударных волн. Впервые получено точное аналитическое выражение для формы конуса Маха в МГД-приближении. Модель позволила экспериментально обнаружить эффект приближения околоземной ударной волны к Земле при уменьшении альфеновского числа Маха, асимметрию околоземной ударной волны в плоскости терминатора (сдвиг на  $\sim 1,5R_E$  в «утреннем» направлении). Предложена новая система координат МІРМ для исследования динамических процессов между ударной волной и магнитопаузой.

На спутниках «Интербол-1, -2» и субспутнике «Магион-5» впервые прямыми методами были зарегистрированы каверны плотности — узкие, ограниченные по длине, опустошённые области плазмосферы. Разработана полуэмпирическая трёхмерная модель плазмосферы Земли, которая позволяет по измерениям вдоль одного пролёта спутника восстановить распределение плазмы во всей плазмосфере.

of the first satellite, which also carried the code with temperature and pressure data inside of the pressurized container.

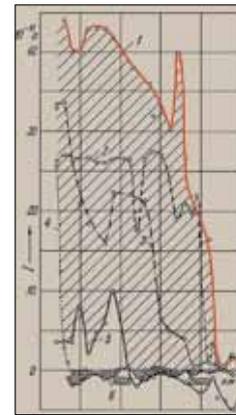
Twelve experiments onboard the Third Sputnik (1958) included the D-111 experiment. About 10 000 spectra obtained verified results of the geophysical rockets, on rather high ( $\sim 10^5 \text{ cm}^{-3}$ ) concentration of charged particles far above the maximum of the  $F_2$  ionospheric layer.

Charged particle fluxes measurement aboard *Luna-1, -2, and Venera-1* resulted in the discovery of the previously unknown boundary of the cold near-Earth plasma region — the plasmasphere, now called the plasmopause. In the course of the same experiments the ion flux of the solar particle radiation — the solar wind — was discovered and measured for the first time. In recognition of his work K.I. Gringauz was awarded the Lenin Prize in 1960.

The first direct measurements of the neutral gas and plasma in the Halley's Comet coma along the spacecraft trajectory in 1986 were performed aboard *Vega-1 and -2* spacecraft. These measurements as well as the discovery of the solar wind slowdown and of the shock arising as a result of the solar wind flux loading with cometary ions enabled to estimate the rate of water vapor loss from the nucleus of the comet as 40 t/s. One more discovery was made closer to the comet nucleus — the cometopause, a clear boundary which was not predicted theoretically. In 1986 K.I. Gringauz was awarded the USSR State Prize for the success of Vega project.

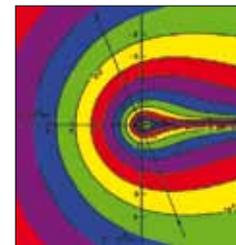
A quantitative semi-empirical model of the position and shape of the planetary shock waves was developed in the laboratory. For the first time ever the exact analytic expression for the Mach cone shape in the MHD approximation was obtained. The model enabled to reveal the effect of the near-Earth shock approach to the Earth with the decrease of the Alfvén Mach number, the asymmetry of the shock in the plane of the terminator (shear by  $\sim 1.5R_E$  towards the morning side). A new coordinate system MIPM to study the dynamic processes between the shock and the magnetopause was proposed.

The *Interball-1 and -2* satellites and *Magion 5* subsatellite recorded the density cavities — the narrow, restricted by longitude, depleted regions of the plasmasphere. A semi-empirical 3D model of the Earth's plasmasphere enabling to reconstruct plasma distribution in the whole plasmasphere by the measurements along one satellite pass was developed.



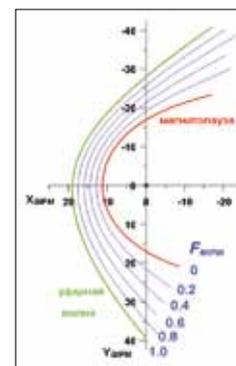
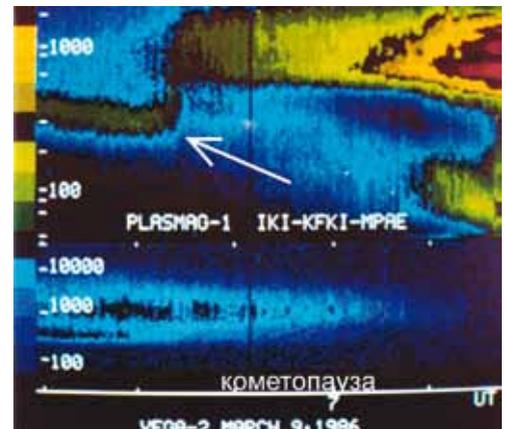
**Зависимость максимальных токов сферических ионных ловушек на КА «Луна-2» от высоты при потенциале внешней сетки -10 (1), -5 (2), 0 (3), +15 В (5) и минимальных токов при потенциале внешней сетки -10, -5, 0 (4) и +15 В (6). Резкий спад токов на высотах (15...20)·10<sup>5</sup> км соответствует пересечению плазмапаузы**

Altitude dependence of the maximum current of the spherical ion traps onboard the Luna 2 spacecraft at the grid potentials of -10 (1), -5 (2), 0 (3), +15 (5) and of the minimum currents at the external grid potentials of -10, -5, 0 (4) and +15 V (6). Abrupt current decrease at 15...20·10<sup>5</sup> km corresponds to the plasmopause crossing

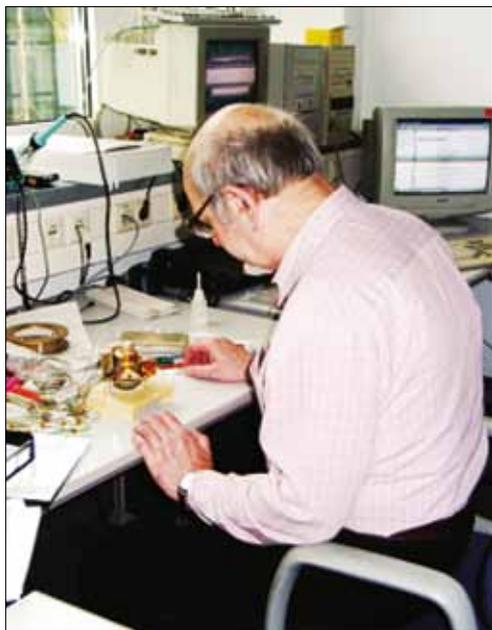


**Распределение плотности нейтрального газа в коме кометы Галлея, восстановленное по измерениям вдоль траектории КА (слева) и спектрограммы плазменных наблюдений при пересечении кометопазы 9 марта 1986 г. приблизительно в 6:45 UT (внизу)**

Distribution of the neutral gas density in the comet Halley coma along the spacecraft trajectory (left) and the spectrogram of plasma observations as the cometopause crossing on 9 March, 1986 at ~6:45 UT (down)



**Изопверхности  $F_{\text{магн}} = \text{const}$  между ударной волной и магнитопаузой при  $M_a = 2$  и  $\theta_{bv} = 45^\circ$**   
Isosurfaces  $F_{\text{магн}} = \text{const}$  between the shock wave and the magnetopause at  $M_a = 2$  and  $\theta_{bv} = 45^\circ$



А. П. Ремизов за сборкой прибора РОМАП, Берлин, 2003 г.

A. P. Remizov during ROMAP instrument assembly, Berlin, 2003

12 ноября 2014 г. на поверхность кометы Чурюмова-Герасименко совершил посадку зонд «Филы» (проект РОЗЕТТА (Rosetta), ЕКА, запуск 2005 г.). В разработке, изготовлении, настройке и калибровке эксперимента РОМАП, успешно начавшего плазменные измерения в коме и на поверхности этой кометы, принимал участие сотрудник лаборатории А. П. Ремизов.

В настоящее время лаборатория занимается разработкой аппаратуры для следующих экспериментов:

- РЕПИН для быстрых и детальных измерений трёхмерной функции распределения плазмосферных ионов для проекта «Резонанс»;
- ГЕЛИОН и ГЕЛИЭС для измерений ионной и электронной компонент межпланетной плазмы в проекте ИНТЕРГЕЛИОЗОНД;
- ЭСИП — энергоспектрометр ионосферной плазмы для проекта ГЕОФИЗИКА;
- зонд Ленгмюра ЛЗЛ-100 для проектов ЛУНА-ГЛОБ и ЛУНА-РЕСУРС;
- комплекс научной аппаратуры ионосферных измерений для наноспутника ПС-2.

On 12 November, 2014 the Rosetta's *Philae* probe (ESA, launched in 2005) landed onto the surface of comet Churyumov-Gerasimenko. A. P. Remizov, a laboratory's staff member was taking part in the development, manufacture, setup and adjustment of the ROMAP experiment which successfully started the plasma measurements in the comet's coma and on its surface.

Currently the laboratory is developing following instruments:

- REPIN for rapid and detailed measurements of the 3D function of plasmasphere ion distribution for *Resonance* project;
- GELION and GELIES for measurement of the ionic and electronic components of the interplanetary plasma for the *Interhelio* project;
- ESIP, an energy spectrometer of the ionospheric plasma for the *Iono* project;
- LZL-100 Langmuir probe for *Luna-Glob* and *Luna-Resurs* projects;
- an instrument for plasma measurements for PS-2 nano-satellite.

Станислав Климов  
Stanislav Klimov



**Лаборатория электромагнитных излучений (545)** (руководитель — профессор, д-р физ.-мат. наук Станислав Климов)

Лаборатория была образована 15 мая 1984 г. на базе конструкторской бригады под руководством С. И. Климова, с багажом, полученным в результате экспериментов на спутниках: «Космос-484» (1972); «Интеркосмос-10» (1973), «Прогноз-8» (1980) и автоматических межпланетных станциях «Марс-6, -7» (1975). С 1984 г. проводились эксперименты по исследованию электромагнитных полей и плазменных волн на аппаратах «Прогноз-10», «Интербол-1», АМС проектов ВЕГА и «Фобос», орбитальных комплексах «Мир» и МКС, а также микроспутниках ИКИ РАН «Колибри-2000» (2002) и «Чиби́с-М» (2012–2014).

#### Тематика современных работ лаборатории

- Экспериментальные исследования плазменно-волновых процессов в космической плазме,
- разработка методов и аппаратуры для спутниковых измерений электрических и магнитных полей, а также флуктуаций тока и потоков частиц в рамках единого подхода «комбинированной волновой диагностики» (двойные электрические зонды Ленгмюра, шелевые зонды Ленгмюра, феррозондовые магнитометры, индукционные магнитометры, цилиндры Фарадея, комбинированные волновые зонды).

**Electromagnetic Radiation Laboratory (545).**  
Head — Professor Dr. Stanislav Klimov

The laboratory was established on 15 May, 1984 on the basis of the design team under the direction of S. I. Klimov with the experience of experiments onboard *Kosmos-484* (1972), *Interkosmos-10* (1973), *Prognoz-8* (1980), and automatic interplanetary stations *Mars 6, 7* (1975). Since 1984 new experiments have been conducted onboard the *Prognoz-10*, *Interball-1*, *Vega*, and *Phobos* projects, *Mir* and the ISS, microsatellites *Kolibri-2000* and *Chibis-M*.

#### Topics of laboratory activity

- Experimental studies of plasma-wave processes in the space plasma;
- development of the methods and instruments for satellite measurements of electric and magnetic fields, electric current and particle fluxes fluctuations, basing on an approach of a combined wave diagnostics (Langmuir double electric and split-type probes, flux gate and induction magnetometers, Faraday caps, combined wave probes);

- теоретические и статистические исследования плазменно-волновых процессов и турбулентности в космической плазме, а также сравнение их с лабораторной и астрофизической плазмой;
- разработка методов и средств контроля электромагнитной совместимости для экспериментальных исследований космической плазмы;
- исследования плазменно-волновых процессов при взаимодействии планет Солнечной системы и экзопланет с межпланетной средой;
- исследования электромагнитных связей в системе магнитосфера-ионосфера-атмосфера.

#### В последние годы были получены следующие основные результаты

Исследованы свойства турбулентности на границах магнитосферы на частотах 0,2...10 МГц и их влияние на процессы переноса плазмы через границы. Выявлены трёхволновые квазирезонансные взаимодействия колебаний. Статистически перемежаемость и мультифрактальность турбулентного потока приводят к супербаллистическому режиму переноса. Сравнены статистические свойства погранслоёв магнитосферы и термоядерных установок и показано, что они близки. Для квазиплоских границ доминирующие диссипативные структуры в обоих случаях оказались нитевидными, что связывается с образованием критических (по энергетике) струй.

Разработаны методы определения электромагнитных параметров среднеширотной и приэкваториальной ионосферы в спокойных и возмущённых геомагнитных условиях. Изучены корреляционные связи между различными видами солнечной активности и электромагнитными и плазменными параметрами в окрестности МКС.

На российском сегменте МКС в 2010–2013 гг. выполнялся эксперимент «Импульс» (2010–2013), а с 2013 г. работает эксперимент «Обстановка (1-й этап)» по мониторингу электромагнитной обстановки вокруг станции.

Лаборатория активно занимается микроспутниками — космическими аппаратами с массой менее 100 кг. В 2002 г. был запущен микроспутник «Колибри-2000» (20,5 кг). В 2012–2014 гг. на орбите функционировал микроспутник «Чибис-М» (40 кг).

По результатам наблюдений микроспутника «Чибис-М» сделан вывод, что повышение интенсивности волновой электромагнитной активности на субавроральных широтах в диапазоне 10...25 кГц — хороший индикатор увеличения геомагнитной активности и наблюдательный параметр космической погоды.

- theoretical and statistical investigations of plasma wave processes and turbulence in the space plasma, comparison with laboratory and astrophysical plasma;
- development of the methods and tests for electromagnetic compatibility control;
- examination of the role of plasma wave processes in the interaction of solar planets and exoplanets with the interplanetary medium.
- investigations of electro-magnetic processes in the system magnetosphere-ionosphere-atmosphere.

#### During the latest years following main results were obtained

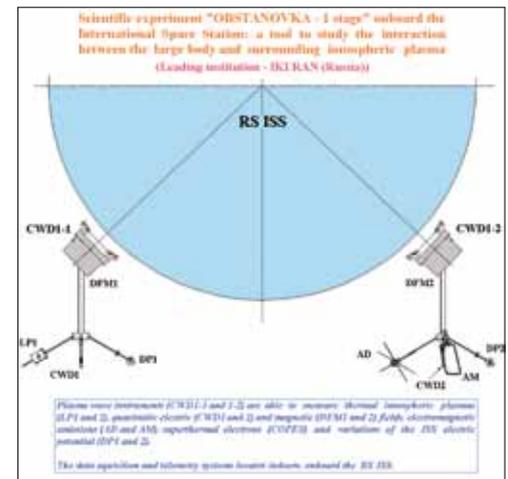
Turbulence properties at the boundaries of the magnetosphere at 0.2...10 MHz frequency and their influence on plasma transfer across the boundary were examined. 3-wave resonant interactions of oscillations were found. Statistically, intermittency and multifractality of the turbulent flow result in the superballistic transfer mode. The statistical properties of the boundary layers in the magnetosphere and in thermonuclear facilities (tokamacs) were compared and their similarity was shown. For quasi-planar boundaries the dominant dissipative structures in both cases are filamentary and associated with the formation of the critical (by energy balance) flows.

Methods of determination of the electromagnetic parameters in the mid-latitude and sub-equatorial ionosphere under the calm and disturbed geomagnetic conditions were developed. Correlations between solar activity and electromagnetic and plasma parameters near ISS were studied.

*Impulse* experiment was conducted onboard the ISS Russian Segment in 2010–2013, and since 2013 the *Obstanovka* experiment for monitoring of the electromagnetic environment around the station is operating.

The laboratory is actively involved in microsatellites development. In 2002 the *Kolibri-2000* microsatellite (20.5 kg) was launched. In 2012–2014 the *Chibis-M* microsatellite (40 kg) operated in orbit.

With observations by *Chibis-M* microsatellite it was concluded that increase of electromagnetic wave intensity at sub-auroral latitudes within the 10...25 kHz range is a good indicator of the geomagnetic activity increase and an observational parameter of the space weather.

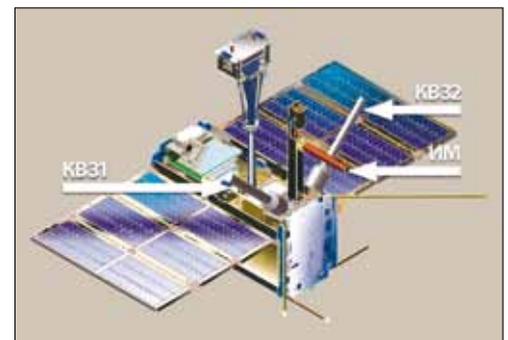


Вверху: размещение аппаратуры эксперимента «Обстановка» на внешней поверхности служебного модуля МКС; внизу: штанга с датчиками

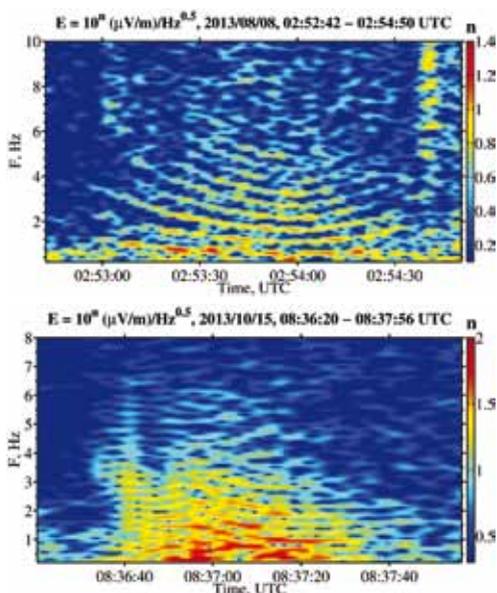
Up. Obstanovka suit allocation on the external surface of the ISS Service Module. Down. Arm with sensors



Эмблема проекта «Чибис-М»  
Project Chibis-M insignia



Микроспутник «Чибис-М»  
Chibis-M microsatellite



**Динамические спектрограммы ионосферного альфвеновского резонанса при пролёте над Юго-Восточной Азией (вверху) и над Тихим океаном (внизу)**

*Dynamic spectrograms of the ionospheric Alfvén resonance over the Southeast Asia (up) and over the Pacific Ocean (down)*

Доказано, что в верхней ночной ионосфере существуют низкочастотные электромагнитные структуры, возбуждаемые атмосферной грозовой активностью: ионосферного альфвеновского и шумановского резонансов.

Сейчас в стадии подготовки находятся следующие эксперименты:

- микроспутники «Чибис-АИ» и «Трабант» в инфраструктуре МКС
- ЛЭМИ и ЛПМС для КА проекта «Луна-Ресурс» (орбитальный аппарат)
- ФПМС для проекта «Странник»
- МЭГРЭ для проекта «ЭкзоМарс» (посадочная платформа)
- ИМВЭ для проекта «Интергелиозонд».

It was proven that in the ionosphere there exist the low-frequency electromagnetic structures excited by atmospheric thunderstorm activity.

Currently, the following experiments are in the preparation stage:

- *Chibis-AI* and *Trabant* micro-satellites within the ISS infrastructure;
- LEMI and LPMS for *Luna-Resurs-Orbiter* project;
- FPMS for *Strannik* project;
- MAIGRET for *ExoMars* (ESA/Roscosmos, 2018);
- IMVE for *Interhelioprobe* project.

**Юрий Ермолаев**  
Yuri Yermolaev



**Лаборатория солнечного ветра (546)**  
(руководитель — д-р физ.-мат. наук Юрий Ермолаев)

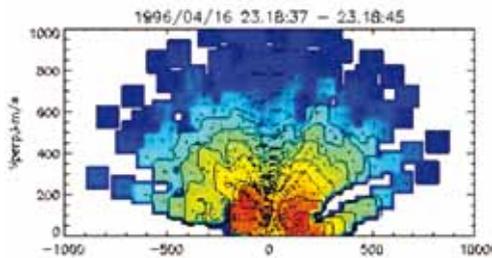
Первоначально лаборатория, созданная и руководимая Олегом Леонидовичем Вайсбергом, занималась экспериментальными исследованиями магнитосферы Земли, солнечного ветра и его взаимодействия с плазменными оболочками планет, разрабатывая методы корпускулярной и волновой диагностики. Одна из первых работ — создание приборов для ИСЗ серии «Прогноз» для исследования солнечно-земных связей на орбитах, выходящих за пределы земной магнитосферы. Первым двум аппаратам, запущенным в 1972 г., удалось провести уникальные наблюдения межпланетных и магнитосферных возмущений, вызванных серией из четырёх экстремальных солнечных вспышек августа 1972 г. В частности, были зарегистрированы экстремальные возрастания скорости солнечного ветра до ~2000 км/с. Приборы, созданные в лаборатории, успешно работали и на последующих спутниках серии «Прогноз», в частности, в международных проектах «Интершок» и «Интербол».

Другим важным направлением стали исследования взаимодействия солнечного ветра с немагнитными планетами и кометами на КА «Марс-2, -3, и -5», «Венера-9 и -10» и в проекте ВЕГА. Были определены параметры магнитосферы этих объектов и объём атмосферных потерь, вызванных солнечным ветром.

**Solar Wind Laboratory (546). Head —**  
Dr. Yuri Yermolaev

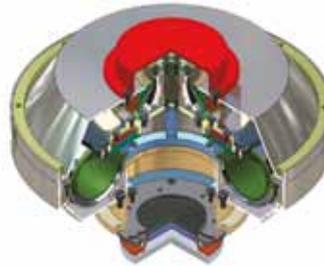
In the beginning the laboratory, founded and headed by O. L. Vaisberg, was conducting experimental studies of the Earth's magnetosphere, solar wind and its interaction with the plasma envelopes of the planets, developing methods of corpuscular and wave diagnostics. One of its first works was the construction of instruments for the series of *Prognoz* spacecraft aimed on studies of solar-terrestrial links on the orbits outside of the Earth's magnetosphere. The first two spacecraft launched in 1972 conducted unique observations of interplanetary and magnetospheric disturbances induced by the four extreme solar flares in August 1972. In particular, extreme solar wind speed up to ~2000 km/s was recorded. Instruments of the laboratory were successfully operating also on the follow up *Prognoz* spacecraft, including *Intershock* (*Prognoz-10*) and *Interball* (*Prognoz-11*).

Another important topic was investigation of the solar wind interaction with nonmagnetic planets and comets onboard *Mars-2, -3, and -5*, *Venera-9 and -10* spacecraft, and in the *Vega* project. The parameters of the magnetospheres of these objects and the amount of the atmospheric losses caused by the solar wind were determined.



**Двухпотоковая функция распределения ионов у магнитопаузы Земли — доказательство многократного пересоединения**

2-stream ion velocity distribution as the proof of multiple reconnection



**2π-энерго-масс-анализатор ДИ для автоматического межпланетной станции «Фобос-Грунт»**

2π energy-mass analyzer DI for interplanetary automatic station Phobos Sample Return



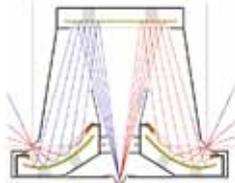
**Панорамный спектрометр АРИЕС-Л для исследования лунного реголита в российских лунных проектах**

ARIES-L panoramic spectrometer for lunar regolith research in the Russian lunar projects



**2π-анализатор заряженных частиц «Камера ОЛЕГ»: ионная оптика и её схема**

2π charged particles analyzer "OLEG camera": ion optics and its scheme



**Испытательная лаборатория группы Вайсберга**

Laboratory of Vaisberg's group



**Испытания ДИ в вакуумной камере**  
DI tests in vacuum chamber



**Профессор О. Л. Вайсберг с коллегами**

Prof. O. Vaisberg with colleagues



**Олег Вайсберг**  
Oleg Vaisberg



**Георгий Застенкер**  
Georgiy Zastenker

Сейчас в лаборатории сформировались три основные научные группы:

- группа О.Л. Вайсберга ведёт подготовку экспериментов по измерению трёхмерной функции распределения тепловой плазмы с анализом по массе;
- группа Г.Н. Застенкера ведёт подготовку экспериментов по быстрым параметрам солнечного ветра и анализ данных о вариациях солнечного ветра;
- группа Ю.И. Ермолаева проводит анализ крупномасштабных типов солнечного ветра и их роли в передаче возмущений от Солнца к Земле.

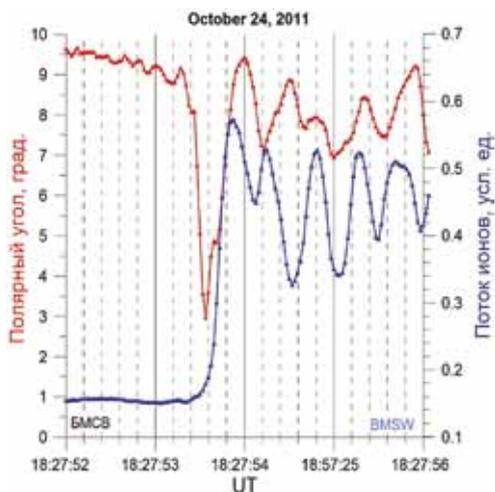
Today the laboratory includes three primary scientific teams:

- O. L. Vaisberg team is preparing experiments for measurements of 3D thermal plasma distribution with mass analysis;
- G. N. Zastenker team is preparing experiments for fast solar wind measurements and data analysis of the solar wind variations;
- Yu. I. Yermolaev team is conducting the analysis of large-scale types of the solar wind and their role transfer of disturbances from the Sun towards the Earth.



**Прибор БМСВ в составе эксперимента по измерениям солнечного ветра «Плазма-Ф» на аппарате «Спектр-Р»**

*BMSW instrument included in the Plasma-F experiment for the solar wind measurements onboard the Spektr-R spacecraft*



**Типичная структура фронта межпланетной ударной волны, которая была получена впервые. Изображён временной ход величины потока ионов и полярного угла этого вектора при прохождении фронта межпланетной ударной волны. Нарастание потока во фронте происходит очень быстро — примерно за 0,2 с. Обращает на себя внимание осцилляторный характер возрастания потока и изменения полярного угла — это типично для большинства зарегистрированных межпланетных ударных волн**

*A typical structure of the interplanetary shock front obtained for the first time. The image illustrates the time dependence of the ion flux and a polar angle of this vector as the interplanetary shock wave front is passing. The flux is increasing in the front very rapidly, in about 0.2 s. The oscillatory behavior of the flux increase and the polar angle change are typical for the majority of the recorded interplanetary shocks*

**Михаил Могилевский**  
*Mikhail Mogilevsky*



**Лаборатория физики магнитосферных процессов (547) (руководитель — д-р физ.-мат. наук Михаил Могилевский)**

Лаборатория была создана в момент образования ИКИ из сотрудников, перешедших из Института физики атмосферы АН СССР. Её первое название — лаборатория полярных сияний, а первым руководителем стал **Юрий Ильич Гальперин** (14.09.1932—28.12.2001).

#### Основные направления

- Экспериментальные исследования, анализ и теоретическая интерпретация волновых и быстроперемежных процессов в космической плазме;
- исследования влияния искусственного излучения на приземную плазму;
- экспериментальные и теоретические исследования процессов в авральной магнитосфере и ионосфере.

Currently the laboratory is conducting the *Plasma-F* solar wind experiment onboard *Spektr-R* spacecraft. BMSW instrument was developed in close collaboration with the colleagues from the Charles University (Prague, Czech Republic) is a spectrometer with six multidirectional Faraday caps. Such a configuration enables to measure the total value and direction of the solar wind ion flux vector, flux energy spectrum, flow velocity, ion temperature, proton density, and, separately, alpha particles density with a record high time resolution of 30 ms. Due to such high time resolution it is now possible to obtain new important data on the fine structure and properties of the solar wind which were not available in the previous experiments.

During the last years a new experimental facility was set up to develop instruments, including a set of vacuum chambers, ion and electron sources, etc. Today the laboratory is working on following future experiments :

- BMSW-LG and LINA for the *Luna-Glob* and *Luna-Resurs-Orbiter* projects;
- BMSW-S, *Kamera-OV*, *Totem-I*, and *Totem-E* for the *Resonance* and *Strannik* projects;
- BMSW-I, PIPLES-A, and PIPLES-S for the *Interhelioprobe* project;
- PICAM for *BepiColombo* (ESA).

- БМСВ-ЛГ и ЛИНА, АРИЕС-Л для проектов «Луна-Глоб» и «Луна-27», «Луна-Ресурс-Орбитальный» и «Луна-Ресурс-Посадочный»;
- БМСВ-С, «Камера-ОВ», «Тотем-И» и «Тотем-Э» для проектов «Резонанс» и «Странник»;
- БМСВ-И, ПИПЛС-А и ПИПЛС-В для проекта «Интергелиозонд»;
- ПИКАМ для проекта *BepiColombo* (ЕКА).

**Laboratory of Physics of Magnetospheric Processes (547). Head — Dr. Mikhail Mogilevsky**

Initially the laboratory included scientists and engineers, who came from the Institute of Atmosphere Physics of the USSR Academy of Sciences when IKI was founded. Its first name was the laboratory of polar auroras and its first head was Prof. **Yuri I. Galperin**.

#### The main research topics

- Experimental analysis and theoretical interpretation of the wave processes in the space plasma;
- investigation of artificial radiation effects on the near-Earth plasma;
- experimental and theoretical research of the processes in the auroral magnetosphere and ionosphere.

Одним из наиболее ярких первых результатов было определение свойств искусственного радиационного пояса, который образовался вокруг Земли после американского ядерного взрыва в космосе. Сотрудники лаборатории создали целый ряд приборов для изучения частиц, вызывающих полярные сияния, в том числе были обнаружены источники диффузных полярных сияний.

Важный этап в жизни лаборатории — сотрудничество с французскими учёными. В 1971–1973 и 1981 гг. были запущены спутники «Ореол-1, -2, -3», на которых был реализован качественно новый, комплексный подход к исследованию физических процессов в авральной плазме. На спутнике «Ореол-3» проекта АРКАД-3 зарегистрирован эффект Гетманцева над ионосферой — нелинейная демодуляция электромагнитной волны в ионосферной плазме в зоне коротковолнового нагрева. Таким образом, была продемонстрирована возможность создания в ионосфере огромной антенны, излучающей в магнитосферу сверхдлинные волны.

В ходе серии активных координированных экспериментов МАССА по воздействию на магнитосферу акустическими волнами от мощных наземных химических взрывов на спутнике «Ореол-3» были зарегистрированы генерация и распространение сильной альвеновской волны, а также других плазменных колебаний и волн в магнитосферной силовой трубке над районами наземных взрывов. Они показали, что явления на уровне поверхности Земли и в нижней атмосфере могут вызывать наблюдаемые эффекты в магнитосфере. Был также зарегистрирован нагрев ионосферных ионов  $O^+$ ,  $He^+$ ,  $H^+$  до десятков и сотен электрон-вольт над областью ионосферы, облучаемой мощным наземным ОНЧ-передатчиком в субавральной зоне.

В 1990-х гг. во многом силами лаборатории был подготовлен комплекс научных приборов для спутника «Интербол-2» (из 15 научных приборов в составе КА у одиннадцати научными руководителями были сотрудниками лаборатории). По результатам совместного эксперимента нагревного стенда в Тромсё (Норвегия) и спутника «Интербол-2» было показано, что потоки ускоренных ионосферных электронов достигают области генерации аврального километрового излучения, что приводит к его подавлению. Впервые измерено время распространения ионосферной плазмы из искусственно нагретой области в магнитосферу на высоту 11 тыс. км. Предложен оригинальный способ определения диаграммы направленности излучения по одновременным измерениям на спутниках «Интербол-Авральный зонд» и Polar (NASA) частотно-ограниченного спектра.

One of the most prominent first results was determination of the properties of the artificial radiation belt after the US nuclear explosion in space. The laboratory's staff have constructed a series of instruments to study the particles inducing the polar auroras and have discovered the sources of diffusive polar auroras.

An important milestone in the laboratory's activity is collaboration with the French scientists. In 1971–1973 and in 1981 the *Aureol-1, -2, -3* satellites were launched onboard of which a brand new integrated approach to investigation of the physical processes in the auroral plasma was applied. The *Aureol-3* satellite of the *Arkad-3* project recorded the Getmantsev effect over the ionosphere — a nonlinear demodulation of the electromagnetic wave in the ionospheric plasma within the short-wave heating region. In such a way, the possibility of a giant antenna formation in the ionosphere, which radiates very low-frequency waves into the magnetosphere was demonstrated.

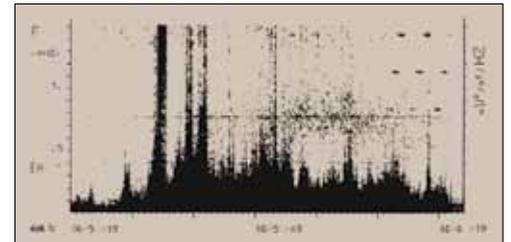
During the series of active coordinated MASSA experiments (“study of MAGnetosphere-ionosphere Relationships during Seismo-Active events”), including modification of the magnetosphere by the acoustic waves from powerful ground-based chemical explosions, the *Aureol-3* satellite has recorded the generation and propagation of a strong Alfvén wave as well as other plasma oscillations and waves in the magnetospheric flux tube over the ground explosion areas. The experiments showed that the events at the ground and in the lower atmosphere may cause the observed effects in the magnetosphere. Heating of  $O^+$ ,  $He^+$ ,  $H^+$  ionospheric ions up to tens and hundreds of electron-volts over a powerful VLF-transmitter in the subauroral region was also recorded.

In 1990's mostly by efforts of the laboratory the set of scientific instruments for the *Interball-2* satellite was prepared (out of 15 scientific instruments 11 were under the direction of the laboratory's staff members). With the joint experiment with the heating stand in Tromsø (Norway) and the *Interball-2* it was shown that the accelerated ionospheric electron fluxes reach the region of the auroral kilometric radiation and suppress it. For the first time ever ionospheric plasma propagation from the heated region to the magnetosphere at the 11 000 km altitude was observed. An original method to determine the diagram of propagation of radiation using simultaneous measurements of *Interball-2* and *Polar* satellites was proposed.



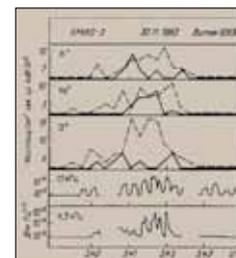
**Профессор Ю. И. Гальперин**  
(14.09.1932 – 28.12.2001)

Prof. Yu. I. Galperin (September 14, 1932 – December 28, 2001)



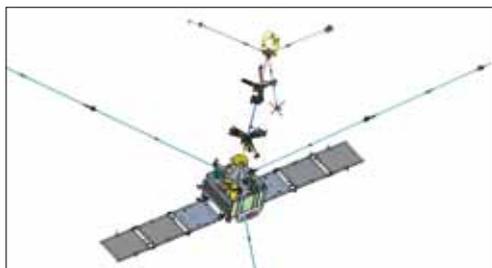
**Спектрограмма ОНЧ-излучений, зарегистрированных при пересечении спутником «Ореол-3» силовой трубки, сопряжённой с нагревным стендом**

A spectrogram of VLF emission recorded as the *Aureol-3* satellite crosses the flux tube connected to the heating facility



**Результаты измерений потоков ионов водорода, гелия и кислорода из ионосферы, нагретой мощным излучением наземного передатчика**

Hydrogen, helium, and oxygen ion flux measurements from the ionosphere heated by the ground-based transmitter

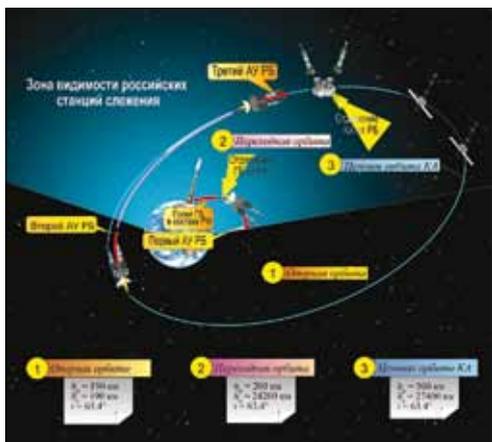


Вверху. Спутник проекта РЕЗОНАНС.

Внизу. Схема выведения группы спутников проекта РЕЗОНАНС

Top. A satellite of the Resonance project.

Below. Resonance's orbital insertion



Система спутников «Ионозонд»

The Ionozond satellite system



Выявлен особый класс аврорального километрового радиоизлучения (АКР) — барстерные структуры, и предложен механизм их формирования.

В настоящее время лаборатория является головной по проекту РЕЗОНАНС, направленному на исследования внутренней магнитосферы Земли и авроральной области. Кроме изучения естественных процессов взаимодействия волн и частиц, определения роли мелкомасштабных процессов в глобальной динамике и изучения динамики магнитосферного циклотронного мазера, в проекте планируется проведение так называемых активных экспериментов — изучение воздействия мощного радиоизлучения от наземных источников на ионосферно-магнитосферную плазму. В рамках проекта будут запущены две пары спутников, параметры орбит которых подобраны таким образом, что в выбранной магнитной силовой трубке обе пары будут находиться более 40 мин. Это позволит отследить динамику процессов, связанных с развитием циклотронной мазерной неустойчивости. В рамках этого проекта в лаборатории подготавливаются эксперименты БЭЛА, ЭЛМАВАН, ВЧА.

Другой современный проект — «Ионозонд» — направлен на изучение ионосферы и влияния на неё «космической погоды». В его рамках будут запущены пять спутников. Четыре однотипных аппарата для мониторинга параметров ионосферы будут снабжены комплексом из 12 приборов. Пятый спутник проекта — «Зонд» — нацелен на мониторинг характеристик солнечного излучения.

Также в лаборатории для проекта «Луна-Ресурс» совместно с Институтом космической физики (Швеция) готовится эксперимент ЛИНА-ЭКРАН — детектор ионов и нейтральных частиц.

A special class of the auroral kilometre radiation (AKR) — burst structures — was discovered and a mechanism of their formation was proposed.

Currently the laboratory is leading *Resonance* project targeted on the Earth's inner magnetosphere and the auroral region. The project includes investigations of the natural processes of wave-particle interaction, of the role of small-scale processes in the global dynamics, of a magnetospheric cyclotron maser, as well as active experiments — analysis of the influence of strong radio emissions from the ground-based sources on the ionosphere-magnetosphere plasma. Within the project two pairs of satellites will be launched with orbital parameters selected in such a way that both pairs will spend more than 40 min in the selected magnetic flux tube. This will enable to trace the dynamics of the processes related to the development of the cyclotron maser instability. For this project laboratory also prepares individual scientific instruments BELA, ELMAVAN, HFA.

The future *Ionozond* project is aimed at the research of the ionosphere and space weather influence on it. Within this project five satellites will be launched. Four similar satellites to monitor the ionosphere will be equipped with a set of 12 instruments. The fifth project satellite, *Zond*, is aimed at the monitoring of the solar radiation.

For the *Luna-Glob* and *Luna-Resurs-Lander* projects laboratory prepares LINA-EKSAN experiment (the ion and neutral particle detector) in collaboration with the Swedish Institute of Space Physics.

Борис Новиков  
Boris Novikov



Лаборатория инженерно-технического обеспечения экспериментов и проектов (548) (руководитель — Борис Новиков)

Лаборатория была сформирована в 2013 г. на основе отдела бортовых программно-управляемых систем и выполняет работы, связанные с инженерно-техническим обеспечением космических проектов. Руководитель отдела и лаборатории — лауреат государственных премии СССР и РФ Борис Сергеевич Новиков.

Laboratory for Engineering Support for Experiments and Projects (548). Head — Boris Novikov

The laboratory was established in 2013 on the basis of the department of onboard program-controlled systems and is providing engineering support for space projects. The department and laboratory head is Boris Novikov, a laureate of the USSR and Russian Federation State Prize.



**Коллектив 73 отдела и Почётная грамота Федерации космонавтики СССР, которой отдел был награждён в 1989 г. за успешную работу по программам космических исследований СССР**

*Department No 73 and Honorary diploma of the Federation of Cosmonautics of the USSR, awarded to the Department in 1989 for large contribution to national Programs of space research*

Первой практической работой отдела, сформированного в 1980 г., стало проектирование и реализация комплекса научной аппаратуры на АМС ВЕГА, создание автоматической следящей платформы (АСП-Г) с комплексом наведения на комету Галлея и научной видеоспектральной аппаратурой. При участии специалистов отдела был создан стенд с использованием полноразмерного макета космического аппарата с АСП-Г и специализированной системой для обезвешивания платформы. Позже оставшаяся в запасе платформа АСП-Г была установлена на внешнюю сторону орбитальной станции «Мир». В отделе была создана система управления для АСП-Г-М из кабины космической станции. Платформа проработала в составе станции 11 лет, закончив свою работу вместе со станцией...

Одновременно в отделе велись работы по созданию комплекса научной аппаратуры астрофизического проекта ГРАНАТ. Качество этого проекта с технической точки зрения выделяет тот факт, что его служебная и научная аппаратура успешно работали в космическом пространстве более девяти лет.

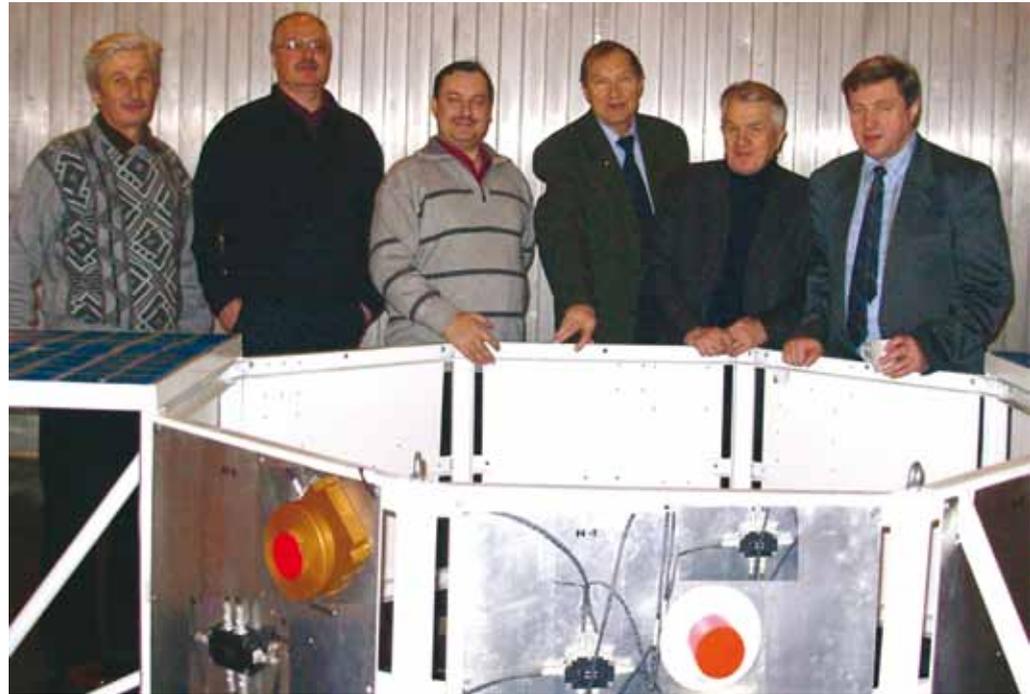
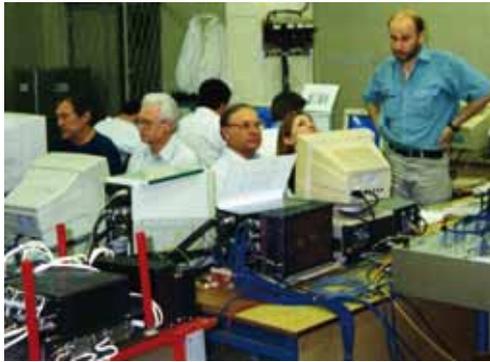
В проекте ФОБОС отделу было поручено в кратчайшие сроки создать сложнейшее устройство блока дальномера-объектива (БДО) для масс-анализатора ЛИМА — прибора для анализа элементного и изотопного состава грунта марсианского спутника при пролёте над ним на высоте 30...80 м. БДО представлял собой систему адаптивной фокусировки лазерного пучка в зависимости от высоты пролёта над поверхностью. При его создании был проведён большой объём специальных испытаний с контролем параметров фокусировки (мощности луча) на реальной дистанции пролёта, в том числе, с имитацией рельефа поверхности Фобоса.

The first practical activity of the department, established in 1980, was the design and implementation of the scientific instrument suite onboard the *Vega* spacecraft, design of the automatic tracking platform (ASP-G) with the guidance system and video-spectral camera. The full-scale mockup of the spacecraft with ASP-G and a specialized system for platform weightlessness was built. Later the spare ASP-G platform was installed at the *Mir* space station. The department created the control system for ASP-G-M to guide it from the space station cabin. The platform had been operating aboard the station for 11 years.

Concurrently, the department was working on the scientific instrument suite of the *Granat* astrophysical project. From the technical point of view the quality of this project is outstanding since it was operational in space for more than 9 years.

For the *Phobos* project the department was given a task to design an advanced BDO long-distance lens unit for the LIMA mass analyzer — the instrument for analysis of the element and isotopic composition of the Martian satellite soil from the altitude of 30...80 m. BDO role was to perform adaptive focusing of the laser beam depending on the altitude. At the design stage a large amount of special tests were conducted at the actual flight altitude including above simulated Phobos terrain.





**Сотрудники отдела 73 — в настоящее время лаборатории инженерно-технического обеспечения экспериментов и проектов**

*The staff of the Department 73 — the Laboratory for Engineering Support for Experiments and Projects*



По проекту «Марс-94/96» отделу были поручены работы по комплексу АРГУС, который выполнял одну из основных задач проекта — телевизионная съёмка и видеоспектральные исследования поверхности Марса. Разработанная в отделе бортовая система МАРИОН-С обеспечивала приём, хранение и передачу в радиоканал научной информации проекта.

Велись работы по инженерно-техническому обеспечению проекта «Спектр-Р» и созданию научного комплекса «Плазма-Ф», которые завершились запуском и успешной работой с 2011 г.

Первым масштабным проектом после почти двадцатилетнего перерыва в космических планетных исследованиях был проект ФОБОС-ГРУНТ. Кроме исследования поверхности спутника Марса, главной задачей проекта был забор с поверхности Фобоса грунта и доставка его на Землю. Специалистами отдела было разработано и испытано грунтозаборное устройство (ГЗУ). К сожалению, проект ФОБОС-ГРУНТ завершился аварией.

В настоящее время лаборатория ведёт работы по международным проектам СПЕКТР-РГ, РЕЗОНАНС, СТРАННИК и «ЭкзоМарс» (вторая часть проекта — создание комплекса научной аппаратуры на посадочной платформе).

For the *Mars-94/96* project the department was put on to do the job on ARGUS suit which was performing one of the primary tasks of the project — TV recording and spectral analysis of the Martian surface. The onboard *Marion-S* system developed in the department was to provide acquisition, storage and transfer of the project scientific information.

The department was conducting the engineering support of the *Spektr-R* project and construction of the *Plazma-F* scientific suite which led to its launch and successful operation since 2011.

The first large-scale project after almost a 20-year break in space planetary exploration was the *Phobos Sample Return* project. In addition to the exploration of the Martian satellite surface, the primary task of the project was taking a sample from the Phobos surface and its delivery to the Earth. The department specialists have developed and tested a soil-extraction device (GZU). Unfortunately, *Phobos Sample Return* mission failed.

Today the laboratory is working on the international projects — *Spektr-RG*, *Resonance*, *Strannik*, and *ExoMars* (second part of the project planned for launch in 2018).