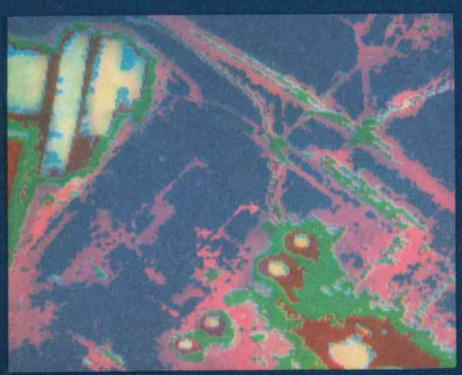
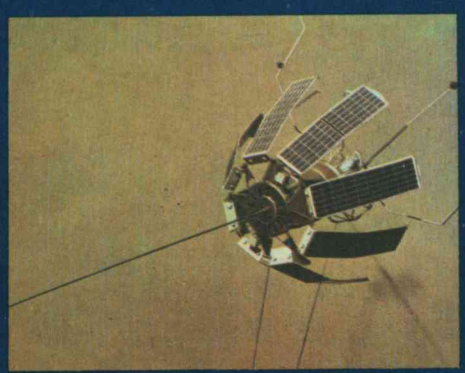
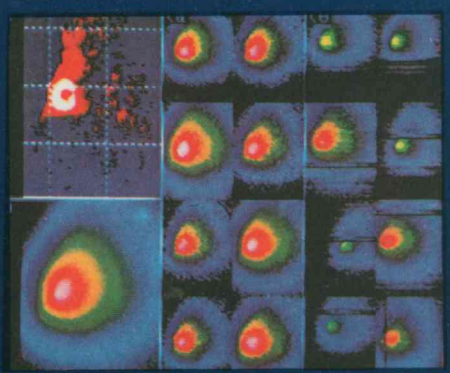
# ЦЕНТР СОВЕТСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ НАУКИ



# SOVIET SPACE SCIENCE CENTRE

ЦЕНТР
СОВЕТСКОЙ
КОСМИЧЕСКОЙ
НАУКИ

SOVIET
SPACE
SCIENCE
CENTRE

USSR Academy
of Sciences'
Institute
of Space Research

# SOVIET SPACE SCIENCE CENTRE

Edited by R. Z. Sagdeyev,
Academician, and
A. A. Galeyev,
Corresponding Member
of the USSR Academy of
Sciences

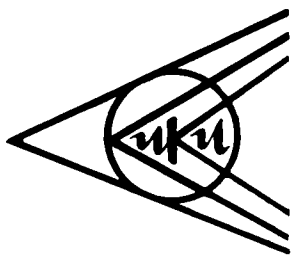
Moscow
Mashinostroyeniye
Publishers
1991

Институт
космических
исследований
Академии наук СССР

# ЦЕНТР СОВЕТСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ НАУКИ

Под общей редакцией
академика
Р. З. Сагдеева,
члена-корреспондента
АН СССР
А. А. Галеева

Москва
«Машиностроение»
1991




# ЦЕНТР СОВЕТСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ НАУКИ

# SOVIET SPACE SCIENCE CENTRE

В конце 60-х годов на Старокалужском шоссе, в то время на окраине Москвы, выросло новое 12-этажное здание. В нем разместился Институт космических исследований Академии наук СССР (ИКИ АН СССР). Совпадение глубоко символичное. Отечественная наука о космосе началась в маленьком российском городке Калуге, которую по праву называют «космической» или городом Циолковского: великий ученый прожил в Калуге 43 года — самую плодотворную пору своей жизни.

Late in the 1960s a new 12-storey building rose in Starokaluzhskoye Highway, then on the edge of the city. It housed the USSR Academy of Sciences' Space Research Institute. This was a deeply symbolic coincidence. Soviet space science originated in Kaluga, a small town in Russia, which is by right called a Space City or Tsiolkovsky's City: the great scientist lived in Kaluga for 43 years. That was the most fruitful period of his life.

*Главный корпус Института космических исследований*

*Main building of the Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences*

Своим фасадом здание Института выходит на площадь, носящую имя выдающегося советского ученого академика М. В. Келдыша. Академик Келдыш, внесший значительный вклад в разработку и претворение в жизнь советской космической программы, принимал непосредственное участие в организации и становлении Института космических исследований АН СССР.

Созданный в 1965 г. на базе ряда отделов и лабораторий, работавших ранее по космической тематике в различных институтах Академии наук и других ведомств, Институт является головной организацией АН СССР и совета «Интеркосмос» в области научных исследований космического пространства, планет Солнечной системы и других объектов Вселенной. ИКИ АН СССР поручены также подготовка и обоснование программ космических исследований, разработка, испытания и применение научной аппаратуры для этих исследований, обеспечение международного сотрудничества в области космических исследований.

Структура Института определяется основными задачами его научно-технической деятельности. В Институте имеются научные отделы и лаборатории по различным направлениям космической физики: космической плазмы, исследований планет, экспериментальной и теоретической астрофизики, космического материаловедения, оптико-физических исследований, а также отделы научно-технического обеспечения экспериментов на автоматических и пилотируемых космических аппаратах.

Институт располагает мощной вычислительной базой для обработки научной информации.

Кроме того, имеется ряд технических подразделений и служб, включающих опытное производство, конструкторский, технологический и технический отделы, контрольно-испытательную станцию, отдел научно-технической информации и патентно-лицензионный отдел.

ИКИ АН СССР подчинены Особое конструкторское бюро (ОКБ ИКИ АН СССР) в г. Фрунзе, которое в настоящее время является мощной конструкторской организацией со своим опытным производством, и терминальная станция при Центре дальней космической связи в Евпатории, обрабатывающая и передающая научную информацию.

Институт имеет свои подразделения на космодромах. В задачу этих подразделений входит организация и участие в заключительных испытаниях комплекса научной аппаратуры перед запуском космического аппарата.

В г. Тарусе Калужской области

создано и развивается новое опытное производство научной аппаратуры ИКИ АН СССР — комплекс общей площадью 20 тыс. кв. м.
Одновременно с организацией производства строятся жилой микрорайон, бытовые объекты и объекты инженерного обеспечения. И производственный комплекс, и микрорайон располагаются в одном из красивейших мест Подмосковья, где жили и работали К. Г. Паустовский, В. А. Ватагин, М. И. Цветаева и другие выдающиеся советские писатели и художники.
Почти 10 лет ИКИ АН СССР возглавлял его первый директор академик Г. И. Петров. С 1973 по 1988 г. Институтом руководил академик Р. З. Сагдеев. В 1988 г. директором на альтернативной основе был избран член-корреспондент АН СССР А. А. Галеев.
С Институтом связаны имена таких ведущих ученых страны, как академик Я. Б. Зельдович, член-корреспондент АН СССР И. С. Шкловский, здесь работают член-корреспондент АН СССР Р. А. Сюняев, около 50 докторов наук и свыше 170 кандидатов наук.
При Институте функционируют специализированные Ученые советы по защите докторских и кандидатских диссертаций.
ИКИ АН СССР является методической базой ряда вузов страны, в том числе таких, как Московский физико-технический институт и Московский инженерно-физический институт.
За последние годы Институт совместно с Научными советами АН СССР по основным направлениям космических исследований провел большую работу по перспективному планированию и созданию программ космических исследований и их координации. Значительная часть этих программ выполняется в рамках международного сотрудничества.
Сотрудники ИКИ АН СССР принимали активное участие в подготовке научной аппаратуры, проведении экспериментов, получении и обработке научной информации с космических объектов, запускаемых по советской космической программе (аппаратов и станций серий «Космос», «Прогноз», «Марс», «Венера», «Луна», пилотируемых космических кораблей «Союз» и орбитальных научных станций «Салют»), а также в проектах, осуществляемых в рамках международного сотрудничества — «Союз» — «Аполлон», АРАКС, «Снег», «Радуга», «Интеркосмос», «Вега», «Фобос» и др.
В рамках научно-технической и методической работы ИКИ АН СССР взаимодействует более чем со 100 научными организациями страны и десятками зарубежных научных организаций. При осуществлении пилотируемых полетов Институт возглавляет методическую и техническую подготовку космонавтов по научным экспериментам, проводимым АН СССР.
Успешная многоплановая деятельность Института, направленная на развитие фундаментальных и прикладных исследований, неоднократно отмечалась правительством СССР.
С 1986 г. на знамени Института орден Ленина. Более двухсот сотрудников ИКИ АН СССР награждены орденами и медалями Советского Союза, около 50 сотрудников стали лауреатами Ленинской и Государственной премий, премии Ленинского комсомола. Академику Р. З. Сагдееву присвоено звание Героя Социалистического Труда.
Только за последние 10 лет сотрудниками Института подано более 500 заявок на изобретения, зарегистрировано 7 открытий, в том числе ряд изобретений и открытий сделан совместно с авторами из стран — участниц программы «Интеркосмос».
С 1967 г. Институт ежегодно является участником Выставки достижений народного хозяйства СССР (ВДНХ). За достигнутые успехи коллектив Института награжден более чем двадцатью Дипломами I степени, около 700 сотрудников награждены Дипломами Почета, золотыми, серебряными и бронзовыми медалями ВДНХ.
Ученые Института являются членами многих иностранных научных обществ и академий: Международного комитета по космическим исследованиям (КОСПАР), Международной астрономической федерации (МАФ), Международного астрономического союза (МАС), Международного геофизического союза (МГС), Консультативной комиссии Центра по оценке спутниковой ситуации для программы Международного изучения магнитосферы (МИМ), Комиссии по планетарным наукам, Общества им. М. Планка (ФРГ), Королевского астрономического общества (Великобритания), Национальной академии наук США и ряда других.
Ведущие специалисты Института входят в редколлегии отечественных и зарубежных журналов («Космические исследования», «Исследования Земли из космоса», «Астрономический журнал», «Физика плазмы», «Земля и Вселенная», «Space Science Instrumentation» и др.).
Ежегодно сотрудники Института публикуют около 500 научных работ в отечественных и зарубежных журналах.
Издательство «Наука» ежегодно выпускает 5-6 сборников статей и монографий, подготовленных в Институте общим объемом свыше 100 авторских листов.
Институт ведет большую работу по пропаганде научных знаний. Его сотрудники регулярно выступают в центральной печати, более 100 человек являются членами Всесоюзного общества «Знание», около 20

человек участвуют в работе различных его органов: в правлении и в научно-методических советах.
Цель настоящего издания — представить основные направления научно-технической деятельности ИКИ АН СССР, кратко информировать о наиболее интересных работах, полученных результатах, о многогранной творческой жизни научного коллектива, своим трудом вносящего скромную лепту в прогресс нашего общества.

*Ученый совет Института*

*Scientific Council of the Institute*

The Institute's building faces the square named after Academician Mstislav Keldysh, an outstanding Soviet scientist. Academician Keldysh, who made a weighty contribution to the elaboration and implementation of the Soviet space programme, took an active part in organizing and developing the USSR Academy of Sciences' Space Research Institute.
The Institute was founded in 1965 on the basis of some departments and laboratories earlier engaged in space exploration at various institutes of the Academy of Sciences and other agencies. It is the leading organization of the USSR Academy of Sciences and the Intercosmos Council in the field of investigations of outer space, the solar system planets and other objects of the Universe.
The Space Research Institute prepares and substantiates space research programmes, designs, tests and uses scientific instrumentation for such research, ensures international cooperation in the field of space research.
The Institute's structure is determined by the main tasks of its scientific and technical activity. The Institute has scientific departments and laboratories studying various aspects of cosmophysics: space plasma, planets, experimental and theoretical astrophysics, space materials technology, optical and physical studies, as well as departments of scientific and technical ensurance of experiments on unmanned and manned space vehicles. The institute possesses a powerful computer basis for processing scientific information. In addition, it has some technical departments and services, including experimental production, the design, technological and technical departments, a control-testing station, the department of scientific and technical information and the patent-licence department.
The Special Design Office in the city of Frunze, which is now a powerful design organization with its own experimental production, a terminal station in the Deep Space Communications Centre in Yevpatoria which processes and transmits scientific information, are subordinated to the Space Research Institute.
The institute has its sections on cosmodromes. They take part in organizing and implementing the final tests of scientific instruments before the launch of spacecraft.
In the town of Tarusa in the Kaluga Region new pilot production of scientific instrumentation of the Space Research Institute has been set up on an area of 20,000 square metres. Along with production premises, a housing neighbourhood, public service establishments and engineering facilities are being built here. This is one of the most beautiful places in the Moscow Region where Konstantin Paustovsky, Vasily Vatagin, Marina Tsvetayeva and other outstanding Soviet writers and painters lived and worked.
For about ten years the Institute was headed by its first director

Группа сотрудников Института, награжденных за активный вклад в реализацию проекта "Вега", с руководством АН СССР.

A group of the Institute staff workers, rewarded for the active contribution to he Vega mission, with the leaders of the USSR Academy of Sciences

Academician Georgy Petrov. From 1973 to 1988 this post was held by Academician Roald Sagdeyev. In 1988 A. A. Galeyev, a Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences, was elected among alternative candidates as the Institute's director.

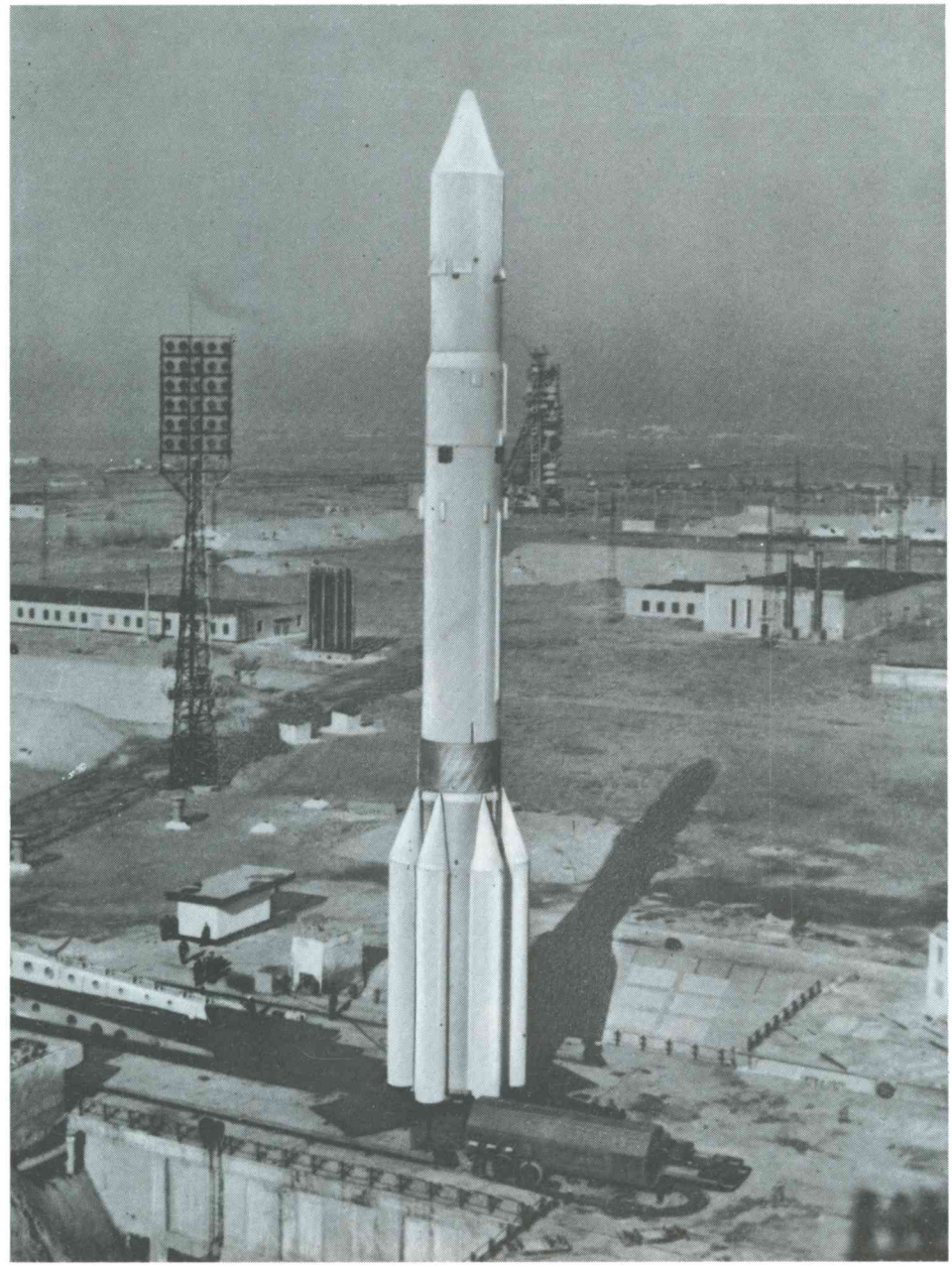
Such prominent scientists as Yakov Zeldovich, an Academician, and Iosif Shklovsky, a Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences, worked at the Institute. R. A. Syunyayev, Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences, is on the Institute's staff.

About 50 Doctors of Sciences and over 170 Candidates of Sciences work at the Institute. The Institute has specialized Academic Councils dealing with the defence of Doctors' and Candidates' degrees.

The Space Research Institute is a methodological basis for some colleges, such as the Moscow Physical and Technical Institute and the Moscow Engineering and Physical Institute.

Over the past few years the Institute, jointly with Scientific Councils of the USSR Academy of Sciences on the main trends in space research, took part in the long-range planning and elaboration of space research programmes and their coordination. A considerable part of these programmes is implemented within the framework of international cooperation.

The Institute's staff vigorously participated in preparing scientific instrumentation, conducting experiments, obtaining and processing scientific data from space vehicles launched under the Soviet space programme (spacecraft of the *Cosmos, Prognoz, Mars, Venera* and *Luna* series, *Soyuz* manned spaceships and *Salyut* space stations) and projects carried out within the framework of international cooperation — the *Soyuz — Apollo* test project, the ARAKS project, the *Signe, Raduga, Intercosmos, Vega* and *Phobos* projects.



*Космодром Байконур. Ракета-носитель «Протон» готова к старту*

*Baïkonur launching-site. Proton carrier is ready for launching*

Within the framework of scientific, technical and methodological work the Space Research Institute interacts with more than 100 scientific organizations in this country and with dozens of foreign scientific organizations. In carrying out manned space flights the Institute is in charge of the methodological and technical training of cosmonauts who take part in conducting the Academy of Sciences' experiments.

The Institute's successful diversified activity aimed at developing basic and applied research is rated high by the Soviet government. Over 200 research associates of the Institute have been awarded Orders and Medals of the Soviet Union, about 50 staffers have become Lenin and State Prize Winners, as well as Lenin Komsomol Prize Winners. The title of Hero of Socialist Labour was conferred on Academician Sagdeyev.

Over the past ten years alone the Institute's staffers' 500

applications for inventions were filed, as well as seven discoveries, including inventions and discoveries made jointly with authors from countries which participated in the Intercosmos programme.
Since 1967 the Institute has annually been participating in the USSR Economic Achievement Exhibition. In recognition of its successes the Institute's staff has been awarded more than twenty Diplomas, 1st class, Diplomas of Honour, Gold, Silver and Bronze Medals of the USSR Economic Achievement Exhibition.
The Institute's scientists are members of many foreign scientific societies and academies: the International Committee on Space Research (COSPAR), the International Astronautical Federation (IAF), the International Astronomical Union (IAU), the International Geophysical Union (IGU), the Consultative Commission of the Centre for Estimating the Satellite Situation for the Programme of the International Investigation of the Magnetosphere (IIM), the Commission on Planetary Sciences, the Max Planck Society (Federal Republic of Germany), the Royal Astronomical Society (Great Britain), the National Academy of Sciences (United States), etc.
The Institute's leading specialists are members of the editorial boards of Soviet and foreign journals (Kosmicheskiye Issledovaniya, Issledovaniye Zemli iz Kosmosa, Astronomichesky Zhurnal, Fizika Plazmy, Zemlya i Vselennaya, Space Science Instrumentation, etc.).
Every year the Institute's research associates publish about 500 papers in Soviet and foreign journals. The Nauka Publisher issues five or six collections of articles and monographs prepared at the Institute with an overall volume of more than 100 author's sheets.

The Institute actively popularizes scientific knowledge. Its staff members regularly publish articles in the national press, over 100 staffers are members of the All-Union Znaniye (Knowledge) Society, about 20 scientists working at the Institute take part in the work of the Society's bodies—in its Board and Scientific-Methodological Councils.
The aim of this publication is to describe the main avenues of the scientific and technical activity of the Space Research Institute and to provide brief information on the most interesting investigations and results obtained, the multifaceted life of scientists who make their contribution to the progress of our society.

*Академик Г. И. Петров*

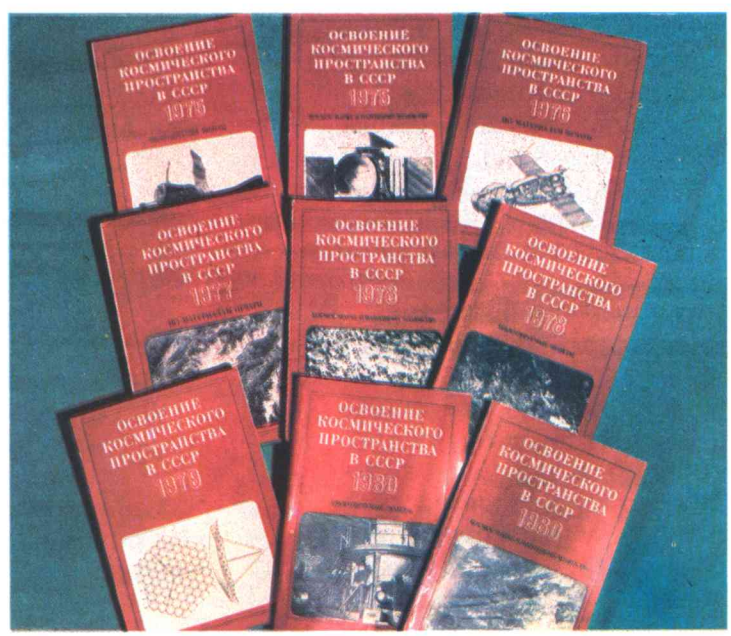
*Academician G. I. Petrov*

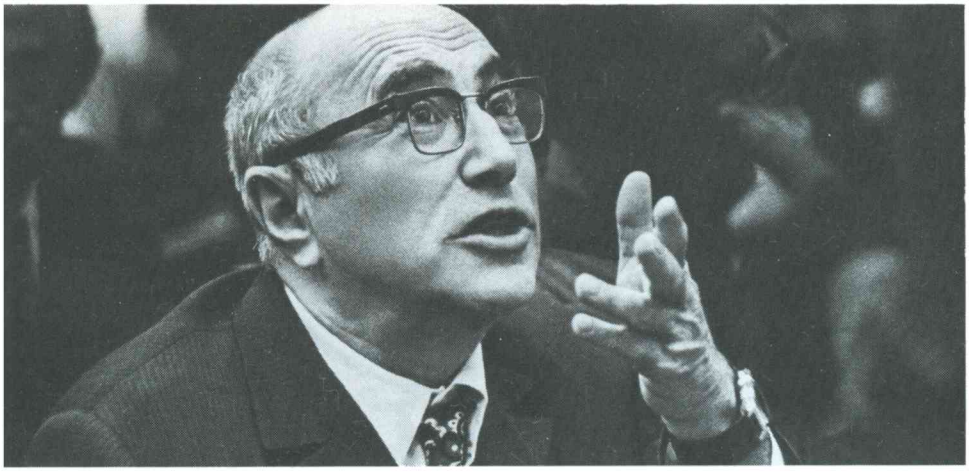
*Академик Р. З. Сагдеев*

*Academician R. Z. Sagdeev*

*Член-корреспондент АН СССР А. А. Галеев*

*Corresponding member of the USSR Academy of Sciences A. A. Galeev*





*Академик Я. Б. Зельдович*

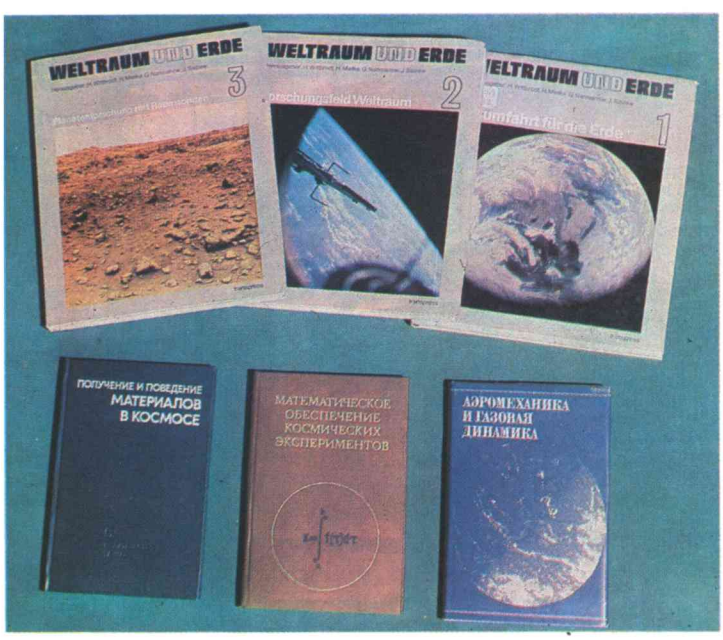
*Academician Ya. B. Zeldovich*

*Член-корреспондент АН СССР И. С. Шкловский*

*Corresponding member of the USSR Academy of Sciences I. S. Shklovskiĭ*

*Вручение Институту ордена Ленина*

*Presentation with Lenin Prize*




*Работы ученых Института публикуются во многих советских и зарубежных изданиях*

*Works of the scientists of the Institute are printed in many Soviet and foreign publications*

*Группа лауреатов Ленинской и Государственной премий и премии Ленинского комсомола — сотрудники ИКИ АН СССР*

*A group of Laureates of Lenin, State and Young Communist League Prizes — staff workers of the Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences*

*В гостях у Института делегация Литовской ССР*

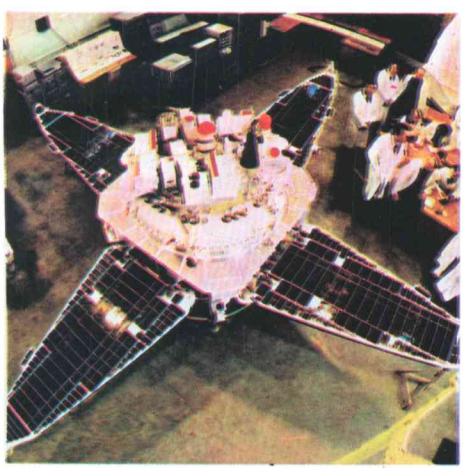
*The delegation of the Lithuanian Soviet Socialist Republic is a guest of the Space Research Institute*

*Слушатели Академии общественных наук знакомятся с выставкой достижений Института*

*Listeners of the Academy of social sciences are seeing the exhibition of achievements of the Space Research Institute*

# ПЛАЗМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

# PLASMA STUDIES



Физика космической плазмы — одно из основных направлений теоретических и экспериментальных исследований, выполняемых в Институте космических исследований АН СССР. Все звезды, в том числе и наше Солнце, межзвездная и межпланетная среда, верхние слои планетных атмосфер (ионосфера), словом, приблизительно 99% вещества Галактики находится в плазменном состоянии. Плазменную природу имеют и процессы преобразования одних видов энергии в другие, составляющие суть активных явлений на Солнце и в ближайших окрестностях (магнитосферах) планет, в том числе и Земли.

Physics of the plasma is one of the main lines of theoretical and experimental investigations performed at the Institute. All stars, including the Sun, the interstellar and interplanetary medium, planetary upper atmospheres (ionosphere) — in a word, roughly 99% of matter in the Galaxy is in the plasma state. The processes of the transformation of some types of energy into other, which constitute the essence of active phenomena on the Sun and in the close vicinity (magnetospheres) of the planets, including the Earth, are of a plasma nature.

Изучение влияния активности Солнца на состояние, например, околоземного пространства в значительной степени сводится к исследованию плазмы в Солнечной системе.

С запуском в 1957 г. первого в мире советского искусственного спутника Земли исследователям открылся прямой доступ в околоземное космическое пространство — настоящую «плазмофизическую лабораторию», начинающуюся всего в 100 км от поверхности Земли.

Благодаря тепловому расширению горячей плазмы солнечной короны планеты Солнечной системы оказываются погруженными в сверхзвуковой поток солнечной плазмы — солнечный ветер. Он был обнаружен в 1959 г. советскими «лунниками».

По существу, солнечный ветер — это непрерывно расширяющаяся солнечная корона. Частицы этого ветра, преодолевая солнечное притяжение, движутся от Солнца с постоянно нарастающей скоростью — их «подталкивает» более горячий газ. На расстоянии нескольких солнечных радиусов они достигают скорости звука, а при удалении от Солнца на одну астрономическую единицу (среднее расстояние от Земли до Солнца) их скорость составляет уже 300—500 м/с. Набегая на магнитное поле нашей планеты, солнечный ветер локализует его в ограниченной кометообразной полости — магнитосфере. На обращенной к Солнцу стороне ее граница — магнитопауза — отстоит от центра Земли примерно на 70 тыс. км. В противоположном направлении магнитосфера вытягивается на многие миллионы километров, образуя магнитный хвост Земли. Магнитосфера поглощает лишь небольшую часть энергии потока солнечного ветра. Тем не менее даже эта энергия способна вызвать многочисленные физические явления в околоземном пространстве, в том числе яркие свечения в верхней атмосфере, называемые полярными сияниями.

Задачами ряда теоретических и экспериментальных лабораторий Института являются как создание моделей магнитосфер планет, так и исследование отдельных физических явлений, специфических для таких сложных и взаимосвязанных систем, как система солнечный ветер — магнитосфера — ионосфера планеты.

Одним из основных элементов, определяющих характер взаимодействия потоков космической плазмы, истекающих из многих астрофизических объектов в результате их активного взаимодействия с окружающей средой, является так называемая бесстолкновительная ударная волна.

Когда говорят «ударная волна», то при этом обычно имеют в виду распространяющуюся со сверхзвуковой скоростью тонкую переходную область в газовой среде, жидкости или твердом теле, в которой происходит скачкообразное увеличение давления, плотности, температуры и скорости движения вещества. Ударные волны могут возникать при взрывах, движении тел со сверхзвуковой скоростью в какой-либо среде, например при полетах реактивных самолетов, при мощных электрических разрядах.

Сам факт существования ударных волн в межпланетном пространстве кажется необычным. Из-за сильной разреженности солнечной плазмы частицы в ней сталкиваются чрезвычайно редко, и длина их свободного пробега (расстояние, проходимое частицей от одного столкновения с себе подобной до другого) зачастую превышает размеры таких гигантских тел, как планеты. И все-таки ударные волны возникают. Дело в том, что в плазме даже при большой длине свободного пробега взаимодействие частиц между собой осуществляется с помощью самосогласованных электромагнитных полей. Ударные волны при этом являются основным механизмом преобразования кинетической энергии сталкивающихся сгустков вещества в энергию ускоренных частиц и излучения.

Регулярные запуски высокоапогейных спутников серии «Прогноз» позволили сотрудникам ИКИ АН СССР провести уникальные исследования структуры ударной волны у Земли. С помощью установленных на борту спутника детекторов плазмы и колебаний электрических полей были выяснены механизмы диссипации энергии и ускорения электронов в сильных ударных волнах.

Ускорение электронов ударной волны представляет особый интерес с точки зрения астрофизики. Например, вспыхивающие сверхновые звезды и плазменные выбросы из ядер активных галактик видны благодаря излучению в межзвездном магнитном поле ультрарелятивистских электронов, т. е. электронов, движущихся со скоростью, близкой к скорости света. Вопрос о преобразовании кинетической энергии выбрасываемой плазмы в энергию небольшой доли ускоренных электронов имеет, таким образом, для астрофизики первостепенное значение. Одним из признанных механизмов такого рода и является ускорение электронов ударными волнами. Источником ускорения здесь служит взаимное движение нескольких плазменных потоков на фронте ударной волны. Оно возникает аналогично тому, как происходит опрокидывание гребня морской волны большой амплитуды при набегании ее на берег. Передача энергии

электронам осуществляется с помощью низкочастотных плазменных волн, возбуждаемых потоками плазмы и затем поглощаемых электронами.
Исследования плазменных волн и ускоренных электронов на спутнике «Прогноз-8» показали, что энергия ускоренных электронов тем больше, чем больше времени электроны движутся в резонансе с ускоряющими их плазменными волнами. Это время определяется размером области, в которой возбуждены плазменные волны. Масштабы околоземной ударной волны невелики, и поэтому ускорение электронов незначительно. В астрофизических объектах, например в плазменных выбросах из ядер галактик, этот масштаб измеряется сотнями световых лет. Поэтому там электроны имеют достаточно времени, чтобы ускориться до скорости, близкой к скорости света, когда их энергия начинает в сотни миллионов раз превышать энергию покоя электрона. Излучение таких электронов даже в слабых межзвездных магнитных полях попадает не только в радио-, но и в оптический и рентгеновский диапазоны частот излучения. Таким образом, экспериментальные и теоретические исследования околоземных и межпланетных ударных волн станут, возможно, ключом к пониманию механизмов излучения далеких астрофизических объектов.
Решение этих проблем входило в задачи проекта «Интершок», осуществленного на спутнике «Прогноз-10». Путем измерения параметров плазмы, энергичных частиц, плазменных волн, электрических и магнитных полей вблизи и внутри фронта околоземной и межпланетных ударных волн исследовалась структура фронта и ее зависимость от параметров потока плазмы перед ударной волной. Особое внимание при этом уделялось изучению плазменных явлений, ответственных за рассеяние энергии на фронте волны, т. е. за нагрев ионов и электронов плазмы.
Аналогичные измерения вблизи фронта ударной волны и в области «предшока», лежащей между фронтом волны и силовыми линиями магнитного поля, позволили идентифицировать механизм ускорения заряженных частиц бесстолкновительными ударными волнами.
Изучение характеристик межпланетных ударных волн и их связи с явлениями на Солнце позволило исследовать причины возникновения и механизмы образования этих волн, условий их распространения и ускорения частиц.
Поскольку межпланетные ударные волны — явление относительно редкое, возникающее лишь в результате достаточно сильных вспышек и выбросов вещества на Солнце, основным объектом исследований в эксперименте «Интершок» стала ударная волна, которая образуется перед магнитосферой Земли. Этим в значительной степени определялся и выбор спутника «Прогноз» для проведения эксперимента. Апогей его орбиты составляет около 200 тыс. км, фронт околоземной ударной волны расположен на расстоянии 100—150 тыс. км. Таким образом, спутник не только часто пересекал его, но и достаточно длительное время находился в невозмущенном солнечным ветром пространстве перед фронтом волны.
Многократная регистрация сильной околоземной волны и более слабых межпланетных ударных волн позволила исследовать их характеристики в различных условиях и в зависимости от параметров потока плазмы солнечного ветра.
Одна из главных особенностей выполненного эксперимента — его комплексный характер, измерение всех и в первую очередь ключевых характеристик изучаемых процессов. Бортовая ЭВМ обеспечивала гибкое управление программой и, что особенно важно, «обучала» весь комплекс аппаратуры распознавать момент пересечения фронта ударной волны. Это позволило реализовать вблизи фронта режим быстрой записи информации. Тем самым обеспечивалось высокое временно́е разрешение измерений, что дало возможность впервые изучить внутреннюю структуру фронта волны и идентифицировать физические процессы, влияющие на формирование этой структуры, разогрев и ускорение частиц.
Большое внимание в Институте уделяется исследованию внутреннего строения магнитосферы.
Магнитное поле Земли является своеобразной магнитной ловушкой, в которой заряженные частицы удерживаются длительное время. Внутренняя ее часть — плазмосфера — заполнена сравнительно холодной ионосферной плазмой с температурой порядка нескольких тысяч градусов. Во внешней же части накапливаются частицы со значительно большей энергией — температура плазмы там порядка миллиарда градусов. Как показали исследования на спутниках «Прогноз», взаимодействие этих частиц с холодной ионосферной плазмой приводит к нагреву плазмы во внешних слоях плазмосферы до десяти тысяч градусов и выше.
Проникая в магнитосферу через своеобразные «щели» или «воронки», образующиеся на ее границах, плазма солнечного ветра составляет значительную часть плазменного «населения» магнитного шлейфа планеты и так называемой плазменной мантии под границами магнитосферы. Исследования

путей проникновения и миграции плазмы по магнитосфере велись методом наблюдения «естественных меченых атомов» — ионов гелия, кислорода (на спутниках «Прогноз»), а также по свечению возбужденных молекул в верхних слоях атмосферы (на спутниках «Интеркосмос — Болгария-1300», «Ореол»).

Плазменные измерения, выполненные на автоматических межпланетных станциях, позволили также исследовать взаимодействие солнечного ветра с планетами Марс и Венера, обнаружить у них ударные волны, плазменно-магнитные шлейфы.

Выяснилось, что плазменные процессы в магнитосферах всех этих планет, различаясь количественно, остаются качественно близкими для многих наиболее интересных явлений. И в этом смысле трудно переоценить значение исследований в магнитосфере Земли — самой доступной для нас.

Исследование магнитосферы Земли способствовало возникновению и утверждению ряда важнейших физических идей. К главным из них, по-видимому, можно отнести формирование взгляда на плазму как на среду, динамика которой определяется не только входящими в ее состав ионами и электронами, но и широким спектром присущих плазме волновых движений. Наиболее ярким примером такого плазменного объекта является околоземная ударная волна.

Воздействие электромагнитных колебаний на энергичные частицы радиационных поясов приводит к их рассеянию и проникновению на все более малые высоты. В конце концов частицы «гибнут», вызывая свечение в атмосфере. Время жизни частиц в радиационных поясах определяется, таким образом, уровнем электромагнитной турбулентности.

Один из важнейших физических процессов (роль его в динамике космической плазмы стала ясна только в связи с магнитосферными исследованиями) — пересоединение магнитных полей. Представление о пересоединении магнитных полей («разрыве» магнитных силовых линий) позволило понять то удивительнейшее обстоятельство, что слабое межпланетное магнитное поле (плотность его энергии на два порядка меньше плотности кинетической энергии солнечного ветра) влияет на большинство процессов во внешних областях магнитосферы, а также глубоко внутри нее. Пересоединение оказалось одним из главных процессов, определяющих структуру и динамику всей магнитосферы, в частности циркуляцию энергии внутри нее.

Несмотря на такой глобальный характер явления, сам сложный процесс пересоединения реализуется в относительно небольших областях магнитосферы в ее лобовой и хвостовой частях.

Экспериментальные исследования магнитосферы показали, что с электродинамической точки зрения ее необходимо рассматривать как единую ионосферно-магнитосферную систему. Электродинамическая связь различных частей магнитосферы осуществляется посредством токов вдоль силовых линий магнитного поля (продольных токов). Наиболее сильные продольные токи наблюдаются на авроральных силовых линиях (в зоне полярных сияний). Эти токи связывают с ионосферой пограничные области дневной магнитосферы и плазменный слой магнитосферного хвоста, т. е. те области пространства, где происходят основные динамические процессы.

Измерения, выполненные в авроральной магнитосфере на высотах 1000 — 8000 км, показали, что в этих областях существуют значительные продольные электрические поля. Кроме того, наземные наблюдения свечений, вызванных электронами, высыпающимися на этих силовых линиях, показывают, что они прошли через ускоряющую разность потенциала в несколько киловольт.

Электродинамическая связь ионосферы с магнитосферой, таким образом, не является идеальной, так как существуют области со значительными продольными электрическими полями.

Изучение магнитосферы Земли представляет собой сложную экспериментальную задачу. Здесь исследователи встречаются с прямо противоположными трудностями, чем при изучении лабораторной плазмы, — зонды здесь практически не возмущают окружающую их плазму и измерения в полном смысле можно рассматривать как точечные. Однако число точек, в которых они проводятся, ограничено числом используемых космических аппаратов. Для понимания причинно-следственных связей между явлениями в сложной магнитосферно-ионосферной солнечной системе необходимо одновременное зондирование различных ее критических областей с помощью достаточно развитой сети искусственных спутников. При этом спутниковые наблюдения должны «поддерживаться» измерениями наземных станций.

Важность изучения процессов в земной магнитосфере определяется, конечно, не только фундаментальным и общефизическим значением этих исследований. С каждым годом все очевиднее становится взаимосвязь процессов на Солнце и в околоземной космической плазме. Доля энергии корпускулярного излучения Солнца, попадающего в магнитосферу Земли,

составляет $10^{12}$ Вт, что, может быть, не очень велико по космическим масштабам. Тем не менее, многие его последствия — магнитные бури, нарушения радиосвязи, выход из строя линий электропередач и другие — хорошо известны. Не вызывает сомнений у большинства ученых и факт влияния солнечной активности на климат Земли. Конечно, фундаментальных изменений климата на наших глазах не происходит. Это процесс длительный, результат действия очень и очень многих факторов. Мы — свидетели как бы «мгновенных» колебаний климата. Интересно, например, что в результате солнечного «шторма» в августе 1972 г. был зарегистрирован эффект замедления скорости вращения Земли, а это, по мнению ряда ученых, привело к локальным погодным аномалиям на планете. Гипотез и догадок о причинах и следствиях солнечно-земных связей появилось, особенно за последние годы, много. Но для того, чтобы поставить предположения на твердый научный фундамент, требуется получить еще немало экспериментальных данных о процессах на Земле, в ближнем космосе и верхней атмосфере, накопить достаточный фактический материал о взаимосвязи этих процессов между собой и с солнечной активностью. Это одна из важнейших задач космической физики на современном этапе. Ее решению посвящен, в частности, проект «Интербол» — запуск системы из двух спутников типа «Прогноз», каждый из которых работает в паре с малым спутником (субспутником). Основная цель проекта — изучение физических механизмов, обусловливающих передачу в магнитосферу энергии солнечного ветра, ее накопление там и последующую диссипацию в авроральных областях магнитосферы, в ионосфере и атмосфере во время магнитных бурь.

Система спутников проекта «Интербол» позволяет исследовать два основных аспекта активности магнитосферы: причинно-следственные связи и физические механизмы явлений. Для этого один из спутников — «Хвостовой зонд» вместе с сопровождающим его субспутником запускается в хвост магнитосферы, служащий своеобразным резервуаром энергии магнитосферных суббурь. Другой — «Авроральный зонд» с его субспутником С2-А — на орбиту, пересекающую область над овалом полярных сияний на высотах 5—15 тыс. км, где разыгрываются процессы ускорения частиц полярных сияний, протекают электрические токи, связывающие хвост магнитосферы с проводящей ионосферой планеты. Для исследования взаимосвязи явлений в хвосте магнитосферы и ее авроральной зоне орбиты «Хвостового» и «Аврорального» зондов выбраны таким образом, чтобы обеспечить возможность одновременных измерений в области ожидаемого пересоединения в хвосте магнитосферы и на авроральных силовых линиях, проходящих через эту область. Для этого линия апсид сильно вытянутой орбиты «Хвостового зонда» при апогее 200—250 тыс. км должна пересекать плазменный слой хвоста на расстоянии порядка 100 тыс. км. Орбита «Аврорального зонда» пересекает авроральные магнитные силовые линии на высотах 5—15 тыс. км при апогее 20 тыс. км. Наклонение и перигей обеих орбит соответственно составляют 65° и 500—1000 км. Одновременно с локальными измерениями со спутников с помощью сканирующего фотометра, устанавливаемого на «Авроральном зонде», наблюдается глобальная картина полярных сияний. Измерения, выполняемые на «Прогнозах» и их субспутниках, позволяют исследовать процессы в авроральной зоне и ближней области хвоста. Это дает возможность изучать механизмы образования и начального ускорения замкнутых магнитных образований — плазмоидов, образующихся в хвосте в периоды диссипации энергии. Одновременно с этими измерениями важное значение имеют исследования плазменной и магнитной структуры дальних областей магнитосферного хвоста (на расстоянии более миллиона километров от планеты). Они выполняются группой приборов, устанавливаемых на астрофизическом спутнике «Реликт-2», запускаемом на гало-орбиту около солнечно-земной точки либрации $L_2$. Это поможет лучше представить динамику магнитосферы как единой плазменно-магнитной системы, позволит понять, как происходит ускорение и дальнейшая эволюция плазмоидов, формирующихся в хвосте магнитосферы. Обширные научные результаты по изучению физики плазменных явлений, протекающих в околоземном космическом пространстве, ученые надеются получить в ходе реализации проекта экспериментальных исследований с помощью системы малых космических лабораторий, оснащенных солнечными парусами. Основная задача проекта (предварительное его название «Регата») — организация многозондовых измерений с высоким временны́м и

пространственным разрешением. Развертывание достаточно плотной спутниковой сети, помимо решения фундаментальных вопросов физики плазмы, явилось бы одновременно важным элементом исследований влияния солнечной активности на атмосферу, климат и биосферу Земли.

Малая космическая лаборатория разработана учеными и специалистами ИКИ АН СССР. Ее конструкция удовлетворяет высоким требованиям магнитной и химической чистоты, точности ориентации, отличается относительной простотой и дешевизной, способностью нести на борту достаточно большой полезный груз. Лаборатория рассчитана на продолжительный срок активного существования.

Проект «Регата» предполагается реализовать во взаимодействии с программой «Кластер» Европейского космического агентства, цель которой — исследование тонкой структуры процессов в околоземном космическом пространстве.

При изучении физики магнитосферы все больше внимания уделяется методу активной диагностики, т. е. искусственной инжекции плазмы в магнитосферу для изучения плазменных и электромагнитных волн при их непосредственной генерации в бесстолкновительной плазме ионосферы и магнитосферы. Активные (управляемые) эксперименты (направленное воздействие при контролируемых условиях) открыли новый этап в исследовании космоса, приближая методы исследований в околоземном космическом пространстве к методам, используемым в физике лабораторной плазмы. Контролируемому изучению электродинамической связи авроральной ионосферы и магнитосферы посвящен проект АПЭКС, основой которого являются спутниковые плазменные эксперименты с инжекцией пучков электронов и(или) плазменных сгустков в магнитосферу с одновременной регистрацией явлений, порождаемых инжекцией пучка, взаимодействием пучка с фоновой средой и распространением в ней. Головная организация по подготовке и реализации проекта — ИЗМИР АН СССР. Сотрудники ИКИ АН СССР принимают участие в проекте. Подобные эксперименты, осуществленные в последнее время в США и Японии (с участием других стран), позволили многое понять в процессах взаимодействия потоков заряженных частиц с ионосферной плазмой на высотах до 300 км. В проекте АПЭКС активные эксперименты с использованием двух спутников выполняются на высотах до 3500 км. АПЭКС является логическим продолжением активных ракетных экспериментов типа АРАКС и ПОРКУПАЙН (середина 70-х — начало 80-х гг.).

В проекте АРАКС использовались две французские исследовательские ракеты, запущенные с острова Кергелен. На борту каждой ракеты была установлена советская плазменная пушка мощностью 15 кВт, которая инжектировала в ионосферу и магнитосферу пучки электронов с энергиями 27 и 15 кэВ. В магнитосопряженном районе (Архангельская обл.) и к югу от него находились оптические и радиолокационные станции, позволившие обнаружить и зафиксировать приход электронного пучка в северное полушарие. В ходе эксперимента удалось также отождествить и проконтролировать возбуждение волн, вызываемых пучком электронов во время движения и в ионосфере, и магнитосфере Земли, а также изучить условия их распространения.

Помимо плазменных экспериментов проект АПЭКС включает в себя также наземные, баллонные и ракетные наблюдения. В отдельные периоды времени (в особенности в активные) выполняются коррелированные измерения по всему высотному разрезу — от места расположения спутника до поверхности Земли. Хотя основная направленность проекта АПЭКС — проведение активных экспериментов, важны и наблюдения геофизических явлений в отсутствии инжекции пучков и плазмы (в так называемом пассивном режиме измерений). Принципиально важной особенностью проекта АПЭКС является синхронное измерение основных физических параметров среды, пучка и генерируемых полей на двух разнесенных космических аппаратах — основном спутнике и субспутнике. При этом одновременные измерения выполняются как на различных взаимных расстояниях (от 0,01 до 1000—2000 км), так и в различных (по отношению к областям возмущения среды и распространения пучка) зонах магнитосферы и ионосферы.

В перспективе планируется проводить подобные активные эксперименты с инжекцией пучков электронов и плазменных сгустков на расстояниях до нескольких радиусов Земли. Это даст возможность непосредственно моделировать и диагностировать магнитосферные процессы,

определяющие протекание различных авроральных явлений. С этой целью в дальнейшем предполагается осуществить на основе проекта АПЭКС-2 и проекта «Импакт» международный комплексный проект «Апогей».

В проекте «Активный» средством воздействия на окружающую среду стала электромагнитная энергия очень низкочастотного радиодиапазона, излучаемая бортовым спутниковым передатчиком с помощью развернутой в космосе антенны достаточно большого размера.

Цель проекта — комплексное исследование распространения электромагнитных волн ОНЧ-диапазона в магнитосфере Земли, а также их взаимодействия с энергичными заряженными частицами радиационных поясов.

«Активный» — первый космический эксперимент, в котором управляемый субспутник использовался для исследования пространственной структуры физических явлений, сопровождающих инжекцию мощного ОНЧ-излучения в магнитосферу. Субспутник — это своеобразный зонд, медленно отделяемый от основного аппарата. В дальнейшем расстояние между спутником и субспутником изменялось контролируемым образом в пределах от сотни метров до ста километров с помощью корректирующей двигательной установки. Таким образом с помощью субспутника исследовалась не только ближняя зона излучателя, но и явления в промежуточной и дальней зонах.

Космические исследования в области солнечно-земной физики предусматривают изучение и самого Солнца. В этой программе головная роль принадлежит другим институтам Академии наук СССР, а ИКИ помогает им в формировании комплексов научной аппаратуры и их испытаниях на испытательной базе Института. Так, комплексная программа спутникового проекта КОРОНАС (головные организации ИЗМИР АН СССР и ФИАН) предусматривает решение таких ключевых задач, как определение характеристик и местоположения (корона или хромосфера) «солнечного ускорителя»; определение параметров солнечной плазмы классическими спектроскопическими методами и новыми методами, использующими, например, регистрацию пульсаций излучения из вспышечных арок или ядерных $\gamma$-линий.

Основная цель эксперимента — поиски предвестников вспышек в различных спектральных диапазонах и выяснение механизмов выделения энергии.

Наблюдение различных проявлений солнечной активности и исследование ее влияния на околоземное пространство — традиционная задача для солнечной космической обсерватории.

Особенность проекта КОРОНАС — в том, что на борту спутника будет установлена аппаратура как для наблюдения явлений на Солнце, так и для диагностики околоземной плазмы.

К задачам проекта относятся также исследования солнечной короны и области ускоренного солнечного ветра с помощью внезатменного коронографа и радиоспектрометра.

По проекту КОРОНАС должен быть, кроме того, осуществлен один из первых экспериментов по гелиосейсмологии — наблюдение основных гармоник колебаний Солнца. Спектр собственных колебаний Солнца содержит информацию о том, как изменяется температура от поверхности вплоть до солнечного ядра, а также о динамике внутренних слоев светила. Таким образом, наряду с нейтринной астрономией гелиосейсмология дает возможность непосредственно изучать недра ближайшей к нам звезды.

Если проект КОРОНАС намечено реализовать непосредственно в фазе максимума солнечной активности, то другой «солнечный» проект — «Нейтрон» — будет выполняться в период относительно спокойного Солнца. Это позволит получить информацию о стационарных процессах в активных плазменных образованиях в отсутствии вторичных эффектов, связанных со вспышечными явлениями.

Научные задачи проекта включают исследования потоков быстрых нейтронов и коротковолнового излучения Солнца в диапазоне от ультрамягкого рентгеновского до гамма-излучения.

В обширной программе планируемых солнечных исследований особое место занимает предложенный ИКИ АН СССР и НПО им. Лавочкина проект «Циолковский», который предусматривает создание специального зонда и выведение его на траекторию полета к Солнцу с использованием гравитационного поля Юпитера. Это даст возможность выполнить измерения во внутренней части гелиосферы — ближайших окрестностях Солнца — практически единственной неисследованной области Солнечной системы.

Все подготавливаемые в настоящее время проекты (и

советские, и зарубежные) по исследованию Солнца с околоземных орбит не в состоянии обеспечить пространственное разрешение по его поверхности лучше 100 км. С помощью аппаратуры, установленной на зонде, при полете его вблизи Солнца можно будет добиться в 10 раз лучшего разрешения. Кроме того, диагностика Солнца в различных диапазонах — рентгеновском, ультрафиолетовом и видимом — исключительно важна для изучения короны и области генерации солнечного ветра как таковых; она поможет увязать результаты прямых измерений характеристик короны, полученных с борта зонда, с расчетными структурными параметрами, а их, в свою очередь, с фотосферными и хромосферными образованиями. При этом из «картинок», сделанных при полете вблизи Солнца, будет составлена стереоскопическая трехмерная панорама структурных образований.

The study of the influence of solar activity on the state of near-Earth space is reduced to a large extent to the investigation of the plasma in the solar system.

With the launching of *Sputnik 1* —the world's first artificial Earth satellite—in 1957, direct access to near-Earth outer space was opened for researchers. This is a true plasmophysical laboratory which begins just 100 km above the Earth's surface.

Due to the thermal expansion of the hot plasma of the solar corona the solar system planets are immersed into the supersonic flux of the solar plasma—the solar wind. It was discovered in 1959 by *Lunniks*. In fact, the solar wind is the continuously expanding solar corona. Overcoming solar attraction, the particles of this wind move from the Sun with a constantly increasing velocity—they are pushed by a hotter gas. At a distance of several solar radii they reach the velocity of sound and when the distance from the Sun is equal to an astronomical unit (the average distance from the Earth to the Sun) their velocity is 300-500 m/s.

Reaching the magnetic field of our planet, the solar wind localizes it in the limited comet-like cavity—the magnetosphere. On the side facing the Sun the boundary of the magnetosphere—the magnetopause—is about 70,000 km away from the Earth's centre. In the opposite direction the magnetosphere stretches for many millions of kilometres, forming the Earth's magnetic tail. The magnetosphere absorbs only a small portion of the energy of the solar wind flow. Nevertheless, even this energy can cause numerous physical phenomena in near-Earth space, including bright airglows, known as auroral displays.

The tasks of some theoretical and experimental laboratories at the Institute is to construct models of planetary magnetospheres and to study individual physical phenomena specific for such complex and interlinked systems as the solar wind-magnetosphere-ionosphere system.

The collisionless shock wave is one of the main elements determining the character of the interaction between the space plasma flows coming from many astrophysical objects as a result of their active interaction with the environment.

By the shock wave one usually means a thin transitional region in the gas, liquid or solid environment. This region propagates at a supersonic velocity and an abrupt increase in the pressure, density, temperature and speed of the motion of matter takes place in it. Shock waves can originate during explosions, during the motion of bodies at a supersonic velocity in the environment, for instance, during flights of jet aircraft and during powerful electric discharges. The very fact of the existence of shock waves in interplanetary space seems to be unusual.

Due to the considerable rarefaction of the solar plasma the particles in it collide very rarely, and their mean free path (a distance passed by a particle from one collision with another particle to another) often exceeds the size of such giant bodies as planets. And yet shock waves do originate.

In plasma even if the mean free path is large the interaction between particles occurs with the aid of self-congruent electromagnetic fields. Shock waves are the main mechanism of the transformation of the kinetic energy of colliding clusters of matter into the energy of accelerated particles and emission.

Regular launchings of high-apogee satellites of the *Prognoz* series enabled the institute to conduct unique studies of the structure of the shock wave near the Earth. The mechanisms of the dissipation of energy and the acceleration of electrons in strong shock waves were clarified through the use of detectors of plasma installed aboard the satellite and oscillations of electric fields.

The acceleration of the electrons of a shock wave is interesting from the point of view of astrophysics. For instance, flare supernovae and plasma ejections from the nuclei of active galaxies are visible due to the emission of ultrarelativistic electrons in the interstellar magnetic field, i. e., electrons moving at a velocity close to the velocity of light.

Thus, the problem of the transformation of the kinetic energy of the ejected plasma into the energy of a small portion of accelerated electrons is of paramount importance for astrophysics. The acceleration of electrons by shock waves is one

of the recognized mechanisms of this type. The source of acceleration here is the mutual motion of several plasma flows on the shock front. This motion appears in the same way as the turning-over of the crest of a sea wave with a large amplitude buffeting the shore. The energy is transferred to electrons by low-frequency plasma waves excited by plasma flows and then absorbed by electrons.
The studies of plasma waves and accelerated electrons from *Prognoz 8* have shown that the energy of accelerated electrons increases with an increase in time during which electrons move in resonance with plasma waves which accelerate them. This time is determined by the size of the region in which plasma waves are excited. The scale of the near-Earth shock wave is not large, and, therefore, the acceleration of electrons is not great. In astrophysical objects, for instance, in plasma ejections from galactic nuclei, this scale is expressed in hundreds of light years. That's why electrons there have enough time to be accelerated to the velocity close to the speed of light when their energy begins to exceed the rest energy of an electron by hundreds of millions of times. The emission of such electrons even in weak interstellar magnetic fields gets not only into the radio range, but also into the optical and X-ray ranges of emission frequencies. Hence, experimental and theoretical studies into near-Earth and interplanetary shock waves will perhaps become a key to understanding the mechanisms of the emission of far-off astrophysical objects.
The *Intershock* project carried out from *Prognoz 10* was aimed at solving these problems. By measuring the parameters of the plasma, energetic particles, plasma waves, electric and magnetic fields near and inside the front of near-Earth and interplanetary shock waves the front's structure and its dependence on the parameters of the plasma flow before the shock wave were studied. Particular attention was given to studying plasma phenomena responsible for the energy scattering at the wave front, i. e., for the heating of the plasma's ions and electrons.
Similar measurements near the shock wave front and in the preshock region lying between the wave front and the lines of magnetic force made it possible to identify the mechanism of accelerating charged particles by collisionless shock waves.
The study of the characteristics of interplanetary shock waves and their correlation with phenomena taking place on the Sun made it possible to study the causes of the origination of these waves, the mechanisms of their generation, conditions of their propagation and acceleration of particles.
Since interplanetary shock waves are fairly a relative phenomenon which appears only as a result of sufficiently strong flares and ejections of matter on the Sun, the shock wave formed in front of the Earth's magnetosphere became the main object of studies in the *Intershock* experiment. This to a large extent determined the choice of the *Prognoz* satellite for experimentation. The apogee of its orbit is about 200,000 km, the front of the near-Earth shock wave is situated at a distance of 100,000-150,000 km. Therefore, the satellite not only often intersected this front, but also moved for a sufficiently long time in space which was not perturbed by the solar wind before the wave front. The multiple recording of the strong near-Earth wave and weaker interplanetary shock waves made it possible to study their characteristics in various conditions and depending on the parameters of the solar wind plasma flow.
One of the features of this experiment is its comprehensive character, the measurements of all and, primarily, key characteristics of processes under study. The on-board computer ensured flexible control of the programme, and, most importantly, taught the whole set of instrumentation to identify the instant of the intersection of the shock wave front. This enabled scientists to introduce the rapid data recording mode near the front. Thus, a high temporal resolution of measurements was ensured, which gave a chance to study for the first time ever the internal structure of the wave front and to identify physical processes influencing the shaping of this structure, the heating and acceleration of particles.
The institute pays much attention to the study of the internal structure of the magnetosphere. The Earth's magnetic field is a specific magnetic trap in which charged particles are contained for a long time. Its inner part—the plasmosphere—is filled with relatively cold ionospheric plasma with a temperature of the order of several thousands of degrees centigrade. In the outer part of the magnetosphere particles with a much greater energy are accumulated—the temperature of the plasma there reaches 1,000 million degrees.
As shown by studies from *Prognoz* satellites, the interaction of these particles with the cold ionospheric plasma leads to the heating of the plasma in outer layers of the plasmosphere up to 10,000 degrees and higher.
Penetrating the magnetosphere through specific "holes" or "funnels", which are formed on its boundaries, the solar wind plasma constitutes a considerable part of the plasma population of the planet's magnetic tail and the plasma mantle beneath the boundaries of the magnetosphere. The ways of the penetration and migration of the plasma in the magnetosphere were studied through observations of "natural

tagged atoms"—helium and oxygen ions (from *Prognoz* satellites) and on the basis of the glow of excited molecules in the upper atmosphere (from Intercosmos satellites—*Bulgaria-1300* and *Oreol*).

Plasma measurements carried out from space probes made it possible to study the interaction of the solar wind with the planets Mars and Venus, to detect their shock waves and plasma-magnetic trail.

It was found out that differing quantitatively the plasma processes in the magnetospheres of all these planets remain qualitatively close for many most interesting phenomena. In this sense one can hardly overestimate the importance of investigations in the Earth's magnetosphere which is the most accessible to us.

The study of the Earth's magnetosphere contributed to the origin and assertion of some major physical ideas. Of particular importance is the shaping of the view on the plasma as a medium whose dynamics is determined not only by its ions and electrons, but also by a wide spectrum of wave motions inherent in the plasma. The near-Earth shock wave is the most graphical example of such plasma object.

The effect of electromagnetic oscillations on energetic particles of the radiation belts leads to their scattering and penetration into ever lower heights. In the long run, particles perish, causing the glow in the atmosphere. Thus, the life of particles in the radiation belts is determined by the level of electromagnetic turbulence.

One of the major physical processes (its role in the dynamics of space plasma has become clear only in connection with magnetospheric studies) is the rearrangement of magnetic fields. The idea of the rearrangement of magnetic fields (the "rupture" of the magnetic lines of force) enabled scientists to understand an interesting fact that the weak interplanetary magnetic field (the density of its energy is lower than the density of the kinetic energy of the solar wind by two orders of magnitude) influences most of the processes in outer regions of the magnetosphere and deep inside it. Despite such a global character of the phenomenon, the complex rearrangement process takes place in relatively small regions of the magnetosphere in its frontal and tail parts.

Experimental studies of the magnetosphere have shown that from the electrodynamic point of view it must be considered as a single ionospheric-magnetospheric system. Various parts of the magnetosphere are electrodynamically connected by currents along the lines of force of the magnetic field (longitudinal currents). The strongest longitudinal currents are observed in auroral lines of force (in the zone of aurorae). These currents link the boundary regions of the daytime magnetosphere and the plasma layer of the magnetospheric tail, i.e., space regions where the main dynamic processes occur, with the ionosphere.

Measurements made in the auroral magnetosphere at altitudes of 1,000-8,000 km have shown that considerable longitudinal electric fields exist in these regions. In addition, ground-based observations of glows caused by electrons precipitating on these lines of force show that they have passed through the accelerating potential difference of several kilovolts. Thus, the electrodynamic connection of the ionosphere with the magnetosphere is not ideal since there are regions with considerable longitudinal electric fields.

The study of the Earth's magnetosphere represents a complex experimental task. Researchers meet here with difficulties which are directly opposite to those met during studies of the laboratory plasma—probes here practically do not perturb the plasma surrounding them, and measurements can be regarded as point ones in the full meaning. However, the number of points at which they are conducted is limited by the number of spacecraft used. To understand the cause-result links between phenomena in the complex magnetospheric-ionospheric solar system the simultaneous probing of its critical regions is needed by means of a sufficiently ramified network of artificial satellites. Satellite observations must be supported by measurements performed by ground-based stations.

Studies of the processes taking place in the Earth's atmosphere are of great fundamental and general physical importance. At the same time, the interrelationship between the processes occurring on the Sun and in near-Earth space plasma becomes more obvious with every passing year. The share of the energy of solar corpuscular radiation penetrating the Earth's magnetosphere is $10^{12}$ W, which perhaps is not very great by the space yardstick. Nevertheless, many of its consequences—magnetic storms, violations of radio communications, the putting of power transmission lines out of order, etc.—are well known.

Most scientists are unanimous that solar activity influences the Earth's climate. Of course, no fundamental changes take place in the climate before our eyes. This is a long process, a result of the operation of many factors. We witness only instantaneous climatic variations. For instance, as a result of the solar storm in August 1972 the effect of the slowing down of the Earth's rotation was recorded, which, in the opinion of some scientists, led to local weather anomalies on the planet.

Many hypotheses concerning the

causes and consequences of solar-terrestrial links have been put forward, especially over the past few years. But to provide these hypotheses with a solid scientific groundwork it is required to obtain much more experimental data on the processes on the Earth, in near space and in the upper atmosphere, to accumulate sufficient information on the interrelationships between these processes and solar activity. This is one of the major tasks of cosmophysics at the present stage. In particular, the *Interball* project is devoted to the solution of this problem. Under this project a system of two *Prognoz* satellites is launched, each of which operates along with a minisatellite (subsatellite). The main objective of the project is to study physical mechanisms causing the transfer of the energy of the solar wind to the magnetosphere, its accumulation there and subsequent dissipation in auroral regions of the magnetosphere, in the ionosphere and in the atmosphere during magnetic storms.

The satellite system of the *Interball* project makes it possible to study the two main aspects of the magnetosphere's activity: the cause-effect correlations and physical mechanisms of phenomena. For this purpose one of the satellites—the Tail Probe—together with a subsatellite which accompanies it is launched into the magnetospheric tail which is a reservoir of the energy of magnetospheric substorms. The other satellite—the Auroral Probe—with its S2-A subsatellite is injected into the orbit crossing the region over the auroral oval at altitudes of 5,000 to 15,000 km where processes of the acceleration of auroral particles occur, and electrojets linking the magnetosphere tail with the conducting ionosphere of the planet are flowing.

To study the interrelationship between phenomena in the tail of the magnetosphere and its auroral zone the orbits of the Tail Probe and the Auroral Probe are chosen so that there is a chance of simultaneous measurements in the region of the expected rearrangement in the tail of the magnetosphere and on auroral lines of force passing through this region. For this purpose the line of apsides of the elongated orbit of the Tail Probe at the apogee of 200,000-250,000 km must intersect the plasma layer of the tail at a distance on the order of 100,000 km. The orbit of the Auroral Probe intersects the auroral magnetic lines of force at altitudes of 5,000 to 15,000 km with the apogee of 20,000 km. The inclination and perigee of both orbits are 65° and 500-1,000 km, respectively.

Alongside local measurements from satellites by a scanning photometer carried by the Auroral Probe, the global picture of auroral displays is observed. Measurements conducted from *Prognozes* and their subsatellites enable the studies of the processes in the auroral zone and in the region of the tail which is the closest to the Earth. This makes it possible to study the mechanisms of the formation and the initial acceleration of closed magnetic formations—plasmoids shaped in the tail during the periods of the dissipation of energy. Along with these measurements of great importance are studies of the plasma and magnetic structure of the far-off regions of the magnetosphere tail (at a distance of over a million kilometres from the planet). They are performed by a set of instruments installed on the *Relikt-2* satellite launched into the halo orbit near the solar-terrestrial libration point $L_2$. This will help to better understand the dynamics of the magnetosphere as a single plasma-magnetic system, to comprehend how the acceleration and further evolution of plasmoids shaped in the tail of the magnetosphere take place.

Scientists hope to obtain vast scientific results pertaining to the physics of plasma phenomena occurring in near-Earth outer space in the course of the implementation of the project of experimental investigations by a system of small space laboratories fitted out with solar sails. The main objective of the project (its preliminary name is *Regatta*) is to organize multi-probe measurements with high temporal and spatial resolution. The unfolding of a sufficiently dense satellite network will enable researchers to solve fundamental problems of plasma physics, being, at the same time, a major element of the studies into the effect of solar activity on the Earth's atmosphere, climate and biosphere.

The Institute's scientists and engineers designed a small space laboratory. Its design meets the high requirements of magnetic and chemical cleanliness, the accuracy of orientation, is relatively simple and cheap, can carry a fairly large payload. The laboratory is meant for a long period of active life.

It is intended to implement the *Regatta* project in the interaction with the *Cluster* programme of the European Space agency the aim of which is the study of the fine structure of processes in near-Earth space.

In studying the physics of the magnetosphere ever more attention is given to the active diagnostics method, i. e., the artificial injection of the plasma into the magnetosphere for investigating plasma and electromagnetic waves when they are directly generated in the collisionless plasma of the ionosphere and the magnetosphere.

Active (controlled) experiments (the directed effect under controlled conditions) opened a

new stage in space exploration, bringing methods of research in near-Earth outer space closer to methods used in the physics of laboratory plasma.

The APEX project is aimed at the controlled study of the electrodynamic links between the auroral ionosphere and the magnetosphere. The project is based on satellite plasma experiments with the injection of electron beams or plasmoids into the magnetosphere with the simultaneous recording of phenomena generated by the injection of the beam, the interaction of the beam with the background environment and the propagation in it. The leading organization in preparing and implementing the project is the USSR Academy of Sciences' Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation. The staff of the Space Research Institute participates in the project.

Such experiments carried out of late in the United States and Japan (with the participation of other countries) made it possible to understand much in the processes of the interaction between charged particle flows and the ionospheric plasma at altitudes of up to 300 km. In the APEX project active experiments are staged with the use of two satellites at altitudes of up to 3,500 km. The APEX project is a logical continuation of active rocket experiments of the ARAKS and PORCUPINE type (the mid-1970s—the early 1980s).

In the ARAKS project two French research rockets launched from the Kerguelen Island were used. Each rocket carried a Soviet plasma gun with a capacity of 15kW which injected electron beams with energies of 27 and 15 keV into the ionosphere and magnetosphere. Optical and radar stations situated in the magnetoconjugate area (Arkhangelsk Region) and south of it made it possible to detect and record the coming of the electron beam to the Northern Hemisphere. In the course of the experiment the excitation of waves caused by the electron beam during the motion in the Earth's ionosphere and magnetosphere was identified and controlled, and conditions of their propagation were studied.

Alongside plasma experiments the APEX project includes ground-based, balloon and rocket observations. In individual periods of time (especially active ones) correlated measurements throughout height cross-section—from the satellite's position to the Earth's surface—are conducted. Although the APEX project is mainly aimed at active experiments, of importance are also observations of geophysical phenomena in the absence of the injection of beams and plasma (in the passive mode of measurements). Of principal importance is that the APEX project provides the synchronous measurements of the basic physical parameters of the environment, the beam and generated fields from two spacecraft—the main satellite and the subsatellite.

Simultaneous measurements are performed at different mutual distances (from 0.01 to 1,000-2,000 km) and in different (relating to the regions of the perturbation of the environment and the propagation of the beam) zones of the magnetosphere and ionosphere.

In the future it is planned to conduct similar active experiments with the injection of electron beams and plasmoids at distances of several Earth radii. This will make it possible to directly simulate and diagnose magnetospheric processes determining the course of various auroral phenomena. With this aim in view it is intended to implement the international comprehensive Apogee project based on the APEX-2 project and the Impact project. The Apogee project is scheduled for future.

In the *Aktivny* project electromagnetic energy of very low frequency radio range will become a mean of exerting influence on the environment. This energy is emitted by the on-board satellite transmitter with the aid of a large aerial unfolded in outer space.

The aim of the project is to carry out comprehensive studies of the propagation of VLF electromagnetic waves in the Earth's magnetosphere and their interaction with energetic charged particles of the radiation belts.

The *Aktivny* will be the first space experiment in which the controlled subsatellite was used for studying the spatial structure of physical phenomena accompanying the injection of powerful VLF radiation into the magnetosphere. The subsatellite is a specific probe slowly separated from the main vehicle. The distance between the satellite and the subsatellite changed in a controlled way within the limits of hundreds of metres to 100 km by a vernier engine installation. Thus, not only the close zone of the emitter, but also phenomena in the intermediate and far-off zones were studied by means of a subsatellite.

Several Institutes of the USSR Academy of Sciences are responsible for much of this program. The Space Research Institute will help these Institutes in developing the scientific instruments and testing them.

Space research in the field of solar-terrestrial physics envisages the exploration of the Sun itself. For instance, the comprehensive programme of the CORONAS satellite project (the leading organizations are the Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation and the Physical Institute of the USSR Academy of Sciences with the participation of the Space Research Institute) envisages the solution of such key problems as the determination of the

characteristics and location (the corona or the chromosphere) of the "solar accelerator"; the determination of the parameters of solar plasma by classical spectroscopic methods and new methods using, for example, the recording of emission pulsations from flare arches or nuclear gamma-lines. The main purpose of the experiment is to find the forerunners of flares in different spectral ranges and to elucidate the mechanisms of energy release.

It is traditional for a solar space observatory to conduct observations of the various manifestations of solar activity and to study its influence on near-Earth space. Under the CORONAS project the satellite will carry equipment for observations of phenomena taking place on the Sun and for the diagnostics of the near-Earth plasma.

Under the same project the solar corona and the regions of the accelerated solar wind will be studied by an extraeclipsing coronagraph and a radiospectrometer.

In addition, under the CORONAS project one of the first experiments in helioseismology—observations of the fundamental harmonics of the Sun's oscillations—will be carried out. The solar spectrum of the Sun's own oscillations contains information about the change in the temperature from the surface up to the solar nucleus and also about the dynamics of the Sun's inner strata. Thus, along with neutrino astronomy, helioseismology makes it possible to directly explore the interior of the star which is the closest to the Earth.

While the CORONAS project will be implemented directly in the maximum phase of the solar cycle, the other solar project—the *Neutron*—will be realized during the period of the relatively quiet Sun. This will enable scientists to obtain information on stationary processes in active plasma formations when secondary effects linked with flare phenomena are absent.

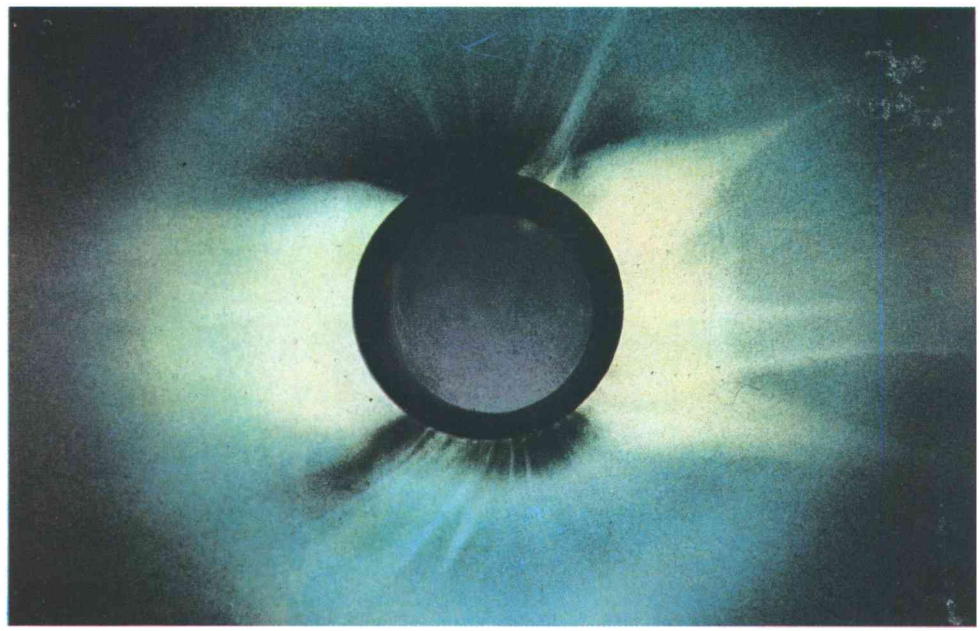
The scientific objectives of the project include the study of fast neutron flows and the short-wave solar radiation in the range varying from ultrasoft X-radiation to gamma-radiation.

The "Tsiolksvskii Project" was developed by the Space Research Institute, USSR Academy of Sciences and the Lavochkin Research and Operational Association to play a major part in the extensive program of solar studies. This Project is aimed at desighing a special-purpose probe and inserting it into the sunward trajectory with the use of Jupiter gravity field. This makes it possible to measure inside the heliosphere—the nearest vicinities of the Sun—actually the only studied area of the Solar system.

At present all the projects under development, intended to study the Sun (both the domain and foreign) from the near-Earth orbits are unable to ensure spatial resolution over its surface better than 100 km. 10 times better resolution can be reached with the aperture aboard the probe, as it flies by the Sun. Besides, the diagnostics of the Sun in the X-ray, ultraviolet and visible ranges is highly important in studying the corona and the solar wind generation region; these diagnostics techniques will help to relate the results of direct measurements of corona characteristics, made aboard the probe, with the calculated structural parameters, and the latter in turn, with the photospheric and chromospheric formations. The "pictures" made during the flyby near the Sun will be used to compile a stereoscopic three-dimensional panorama of structural formations.

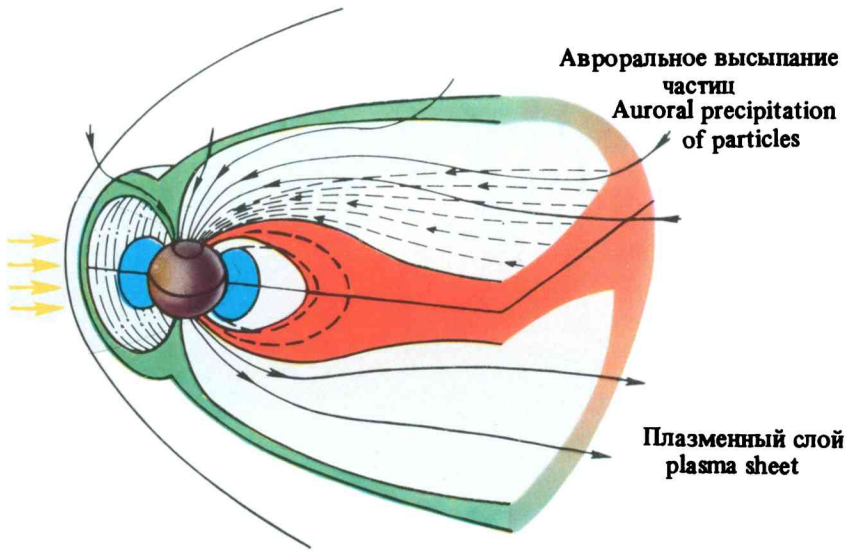
*Фотография солнечной короны, сделанная в период затмения. Находясь в состоянии постоянного расширения, солнечная корона заполняет межпланетное пространство ионизованным газом — солнечным ветром, который распространяется со сверхзвуковой скоростью 300—800 км/с*

*Photograph of the solar corona during an eclipse. The solar corona expands continuously. It fills the interplanetary space with an ionized gas-solar wind which propagates at a supersonic speed of 300-800 km/s*



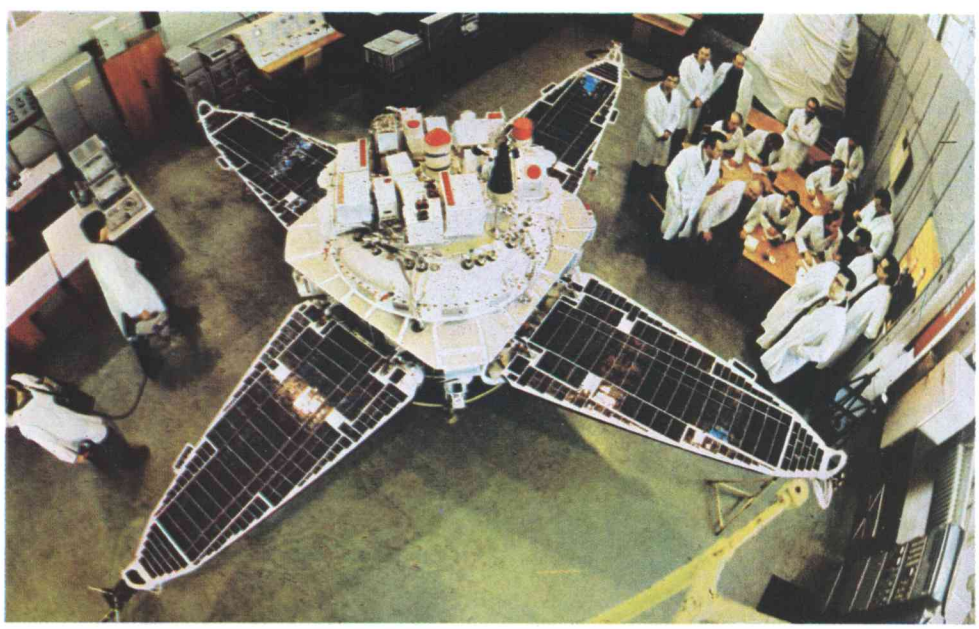
*Набегая на магнитное поле нашей планеты, солнечный ветер локализует его в ограниченной кометообразной полости — магнитосфере. На обращенной к Солнцу стороне ее граница удалена от центра Земли примерно на 70 тыс. км. В противоположном направлении магнитосфера вытягивается на многие миллионы километров, образуя магнитный хвост*

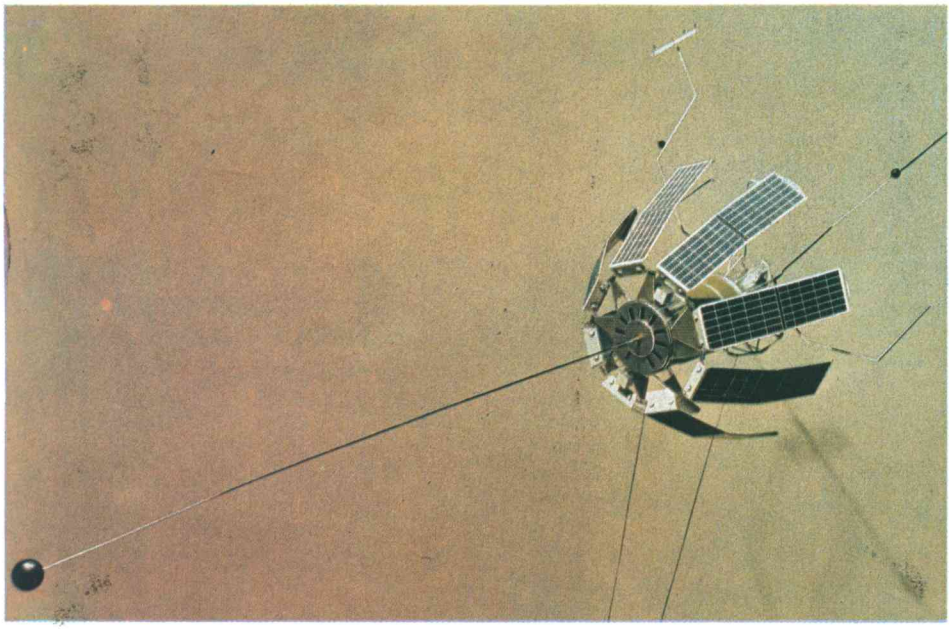
*Flowing over the magnetic field of our planet the solar wind localizes it in a limited comet-shaped cavity — magnetosphere. Its border on the side directed to the Sun is approximately 70.000 km behind the Earth centre. In the opposite direction the magnetosphre is extended by many millions of kilometres in the form of a magnetic tail*




*Спутник «Прогноз». Эксцентриситет и наклонение его орбиты позволяют исследовать такие разнообразные районы, как межпланетная среда, ударный фронт, переходный слой и внешняя магнитосфера*

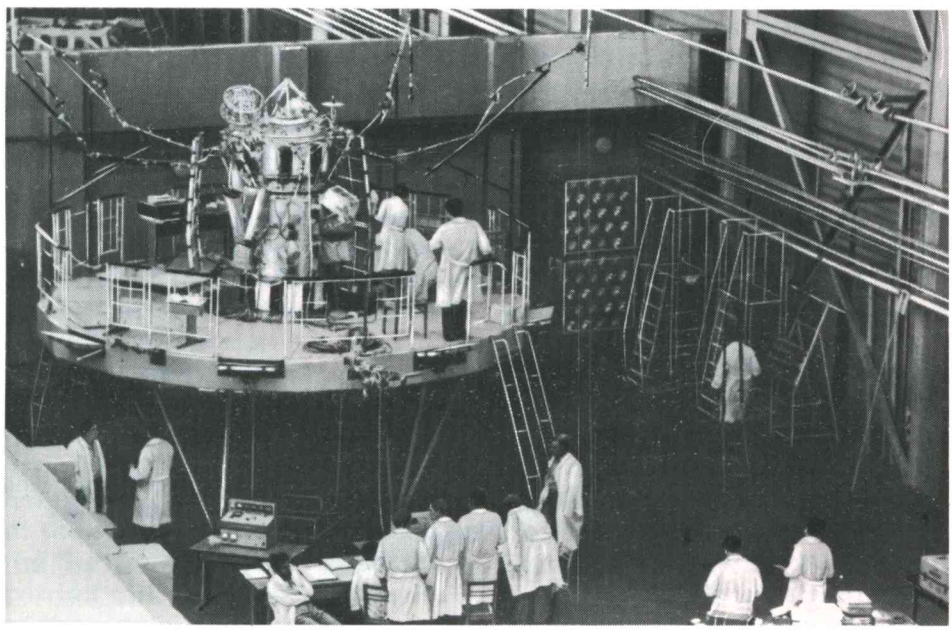
*The Prognoz satellite. The eccentricity and inclination of its orbit allow for investigation in such different areas as the interplanetary medium, shock front, transient layer and external magnetosphere*





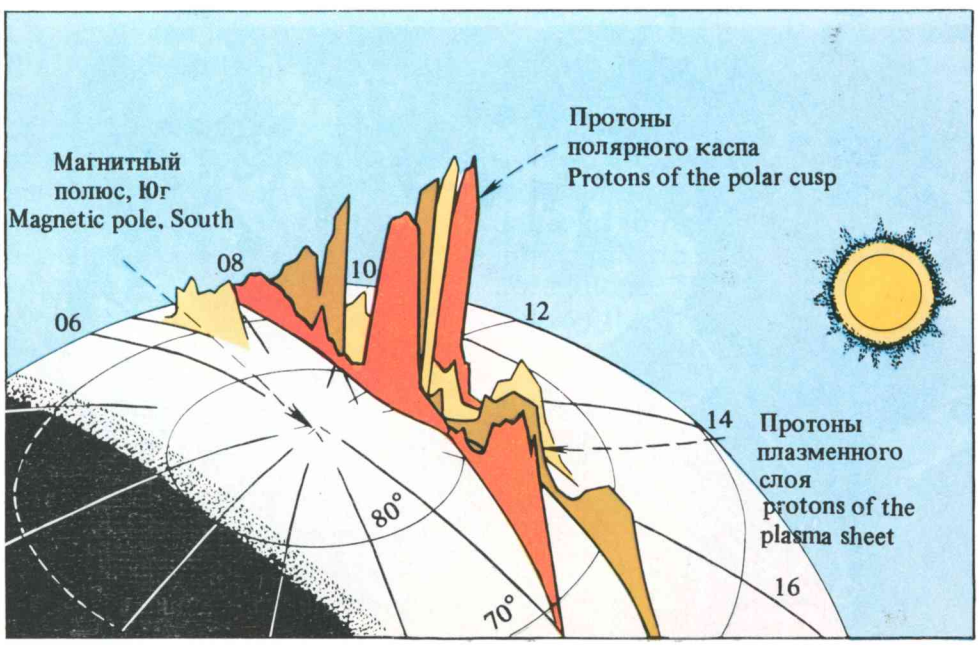
*Один из спутников «Ореол». Выведенные на полярные орбиты, они позволили уточнить области и механизмы прямого проникновения солнечного ветра в магнитосферу*

*One of the Oreol satellites. Launched into polar orbits, they made it possible to investigate the regions and mechanisms of direct penetration of the solar wind into the magnetosphere*



*Испытания спутника «Ореол» на космодроме*

*Tests of the Oreol satellite on the space-vehicle launching site*

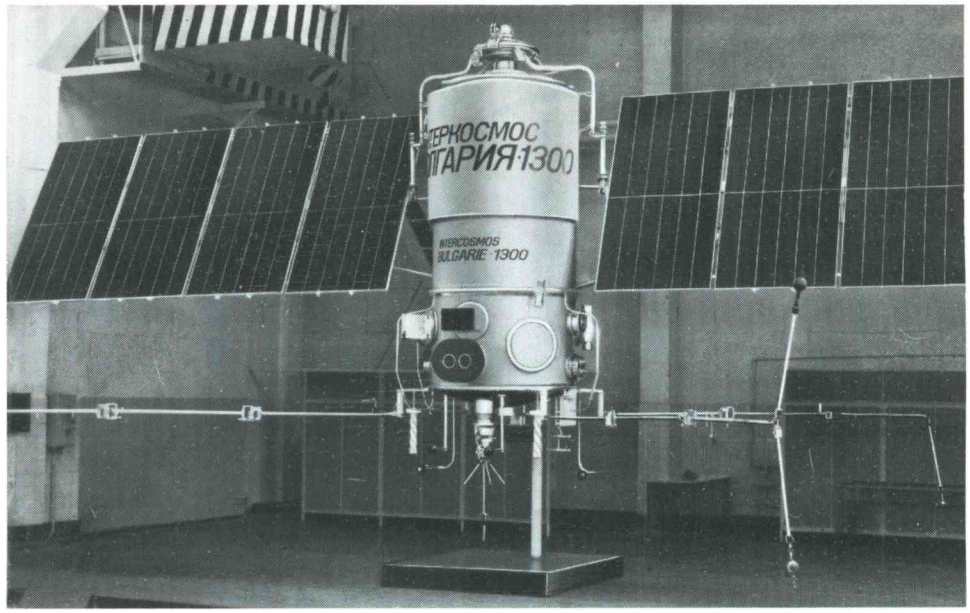



*Плазма солнечного ветра обтекает магнитосферу и проникает в полярную ионосферу приблизительно на 80° магнитной широты. Показаны профили высыпания частиц, полученные в течение нескольких последовательных проходов спутника «Ореол» через район полярного каспа*

*Solar wind plasma flows over the magnetosphere and penetrates the polar ionosphere to approximately 80° of magnetic latitude. The profiles of particle precipitation obtained in several successive orbits of the Oreol satellite passing through the polar cusp*

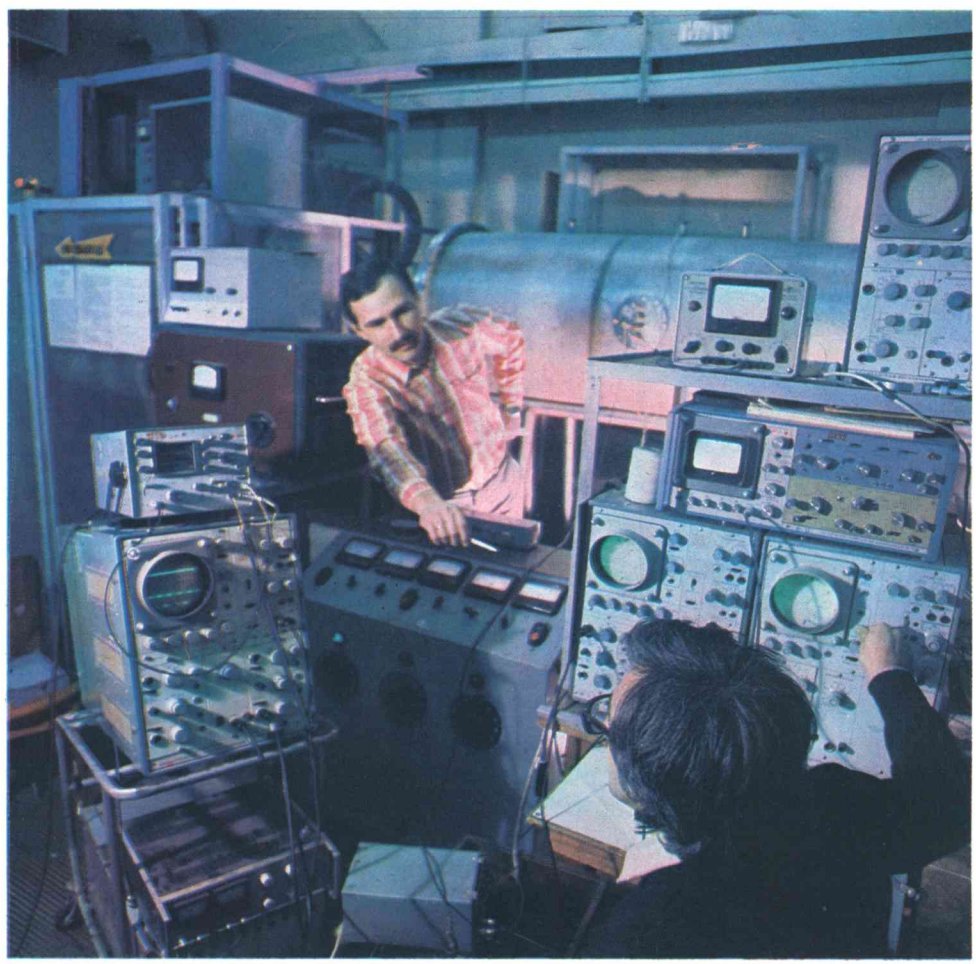
*Магнитосфера тесно связана с ионосферой посредством силовых линий магнитного поля Земли. Энергичные заряженные частицы (электроны и протоны), приходящие из хвоста вдоль этих силовых линий, вторгаются в атмосферу и возбуждают свечение ее атомов и молекул — полярные сияния*

*The magnetosphere is closely associated with the ionosphere and atmosphere by lines of force of the earth's magnetic field. Energetic charged particles (electrons and protons), coming from the tail along these lines of force, enter the atmosphere and stimulate luminescence of atoms and molecules, the polar aurora*




*Спутник «Интеркосмос — Болгария-1300». Основная его задача — космические исследования физических процессов в ионосфере и магнитосфере Земли и их взаимосвязи*

*The Intercosmos-Bulgaria-1300 satellite. Its basic target is space investigation of physical processes in the ionosphere and magnetosphere of Earth and their interrelationships*



*Подготовка к работе установки моделирования плазменных процессов и явлений в космосе*

*A laboratory installation simulating plasma processes and phenomena in space*

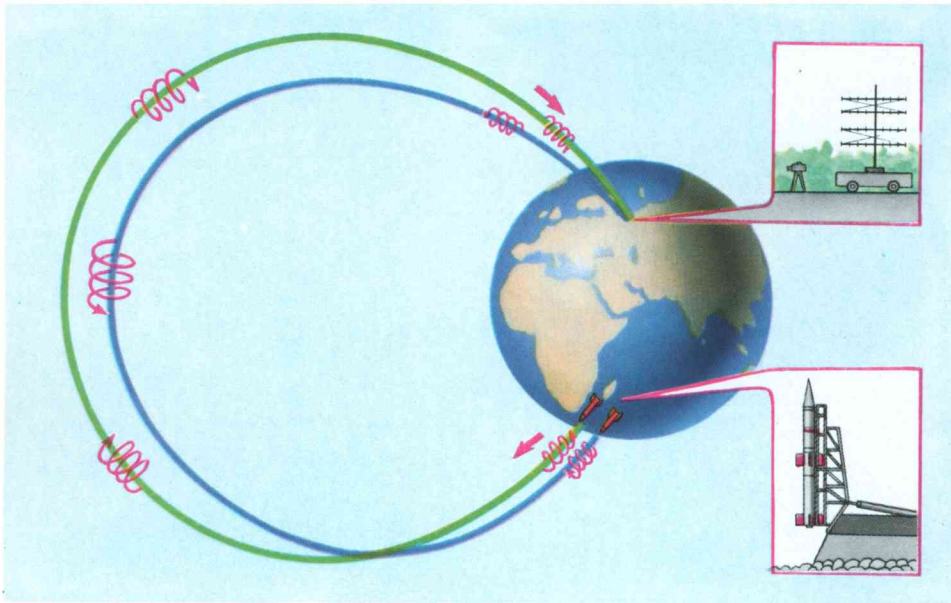
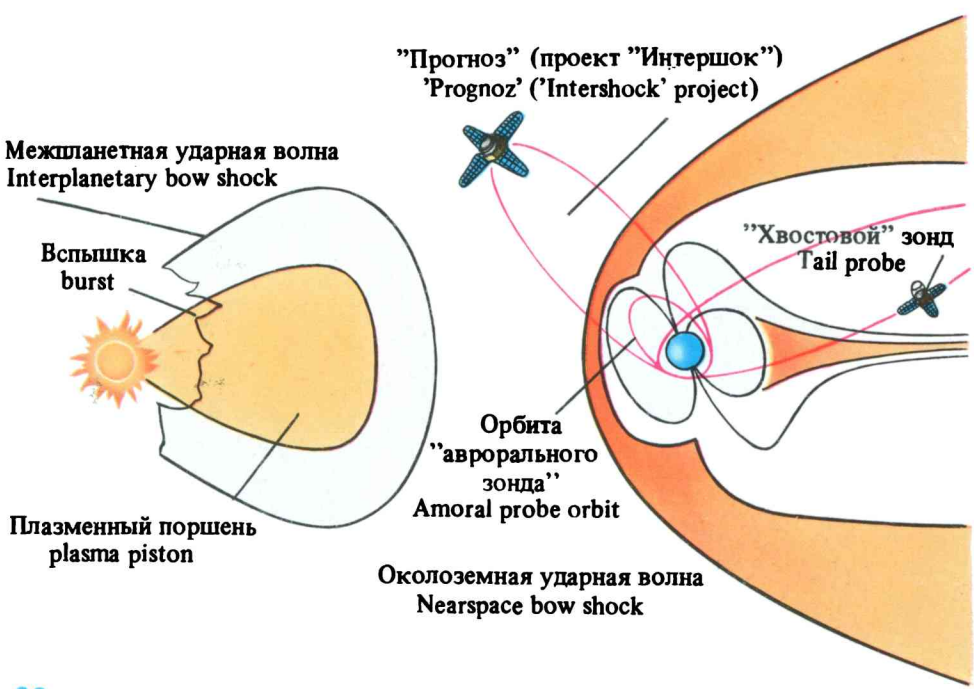


*Схема советско-французского эксперимента «Аракс»*

*Scheme of the Soviet-French experiment Araks*

*Ракета «Эридан» с плазменной пушкой на борту готова к старту*

*The Eridan rocket with an on-board plasma gun is ready for launching*




*Схематическое представление реализации международных проектов «Интершок» и «Интербол» на спутниках «Прогноз»*

*Scheme of international missions Intershock and Interball on the Prognoz satellites*

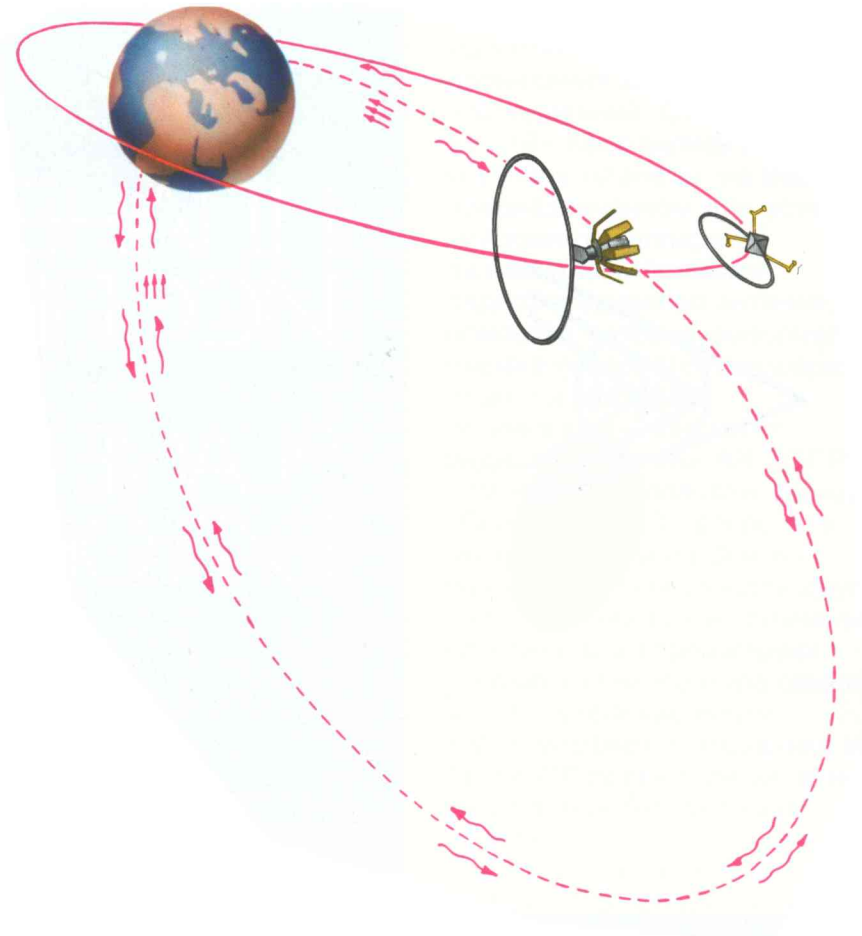


*Схема экспериментов проекта «Активный».*

*Scheme of the experiments of the Activnyĭ project*

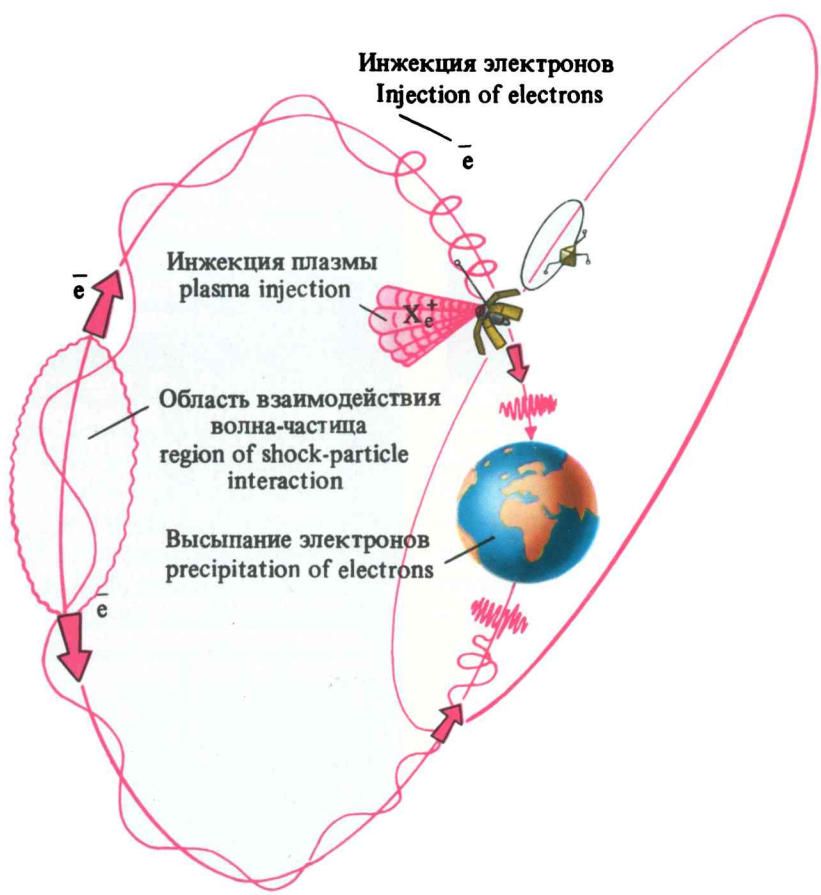



*Схема экспериментов проекта АПЭКС*

*Scheme of the experiments of the APEX project*

# ПЛАНЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

# PLANETARY EXPLORATION

Исследование Солнечной системы — старейшее направление астрономической науки. Однако в последние десятилетия оно далеко вышло за рамки чистой астрономии, в него включились физики, геофизики, геохимики, геологи. Главным средством изучения планет стали космические аппараты. Из сплава астрономии и наук о Земле формируется новый комплекс фундаментальных наук — физика планет, планетология, планетохимия,— аналогичный наукам о Земле, но охватывающий более широкий круг проблем.

The study of the solar system is the oldest branch of astronomy. However, over the past few decades it has gone far beyond the framework of pure astronomy. Physicists, geophysicists, geochemists and geologists have joined astronomers. Space vehicles have become the main means for exploring planets. The alloy of astronomy and Earth sciences is shaping a new range of basic sciences—physics of planets, planetology and planetochemistry—which is similar to Earth sciences, but which embraces a wider scope of problems.

Основной задачей исследований планетных тел является изучение их атмосфер, поверхности и внутреннего строения с целью установить или уточнить общие закономерности физических и химических процессов, определяющих «жизнь» любой планеты, в том числе и Земли. Для решения проблемы образования Солнечной системы особенно важным является изучение малых тел: астероидов, естественных спутников планет и комет. Наконец, накопление данных о природе планет — необходимый этап перед созданием на Луне, Марсе постоянно действующих автоматических научных обсерваторий и обитаемых станций, которые помогут заложить базу для будущего освоения и колонизации планет.

Планетная тематика занимает важное место в деятельности Института. Основной задачей являются экспериментальные исследования. Они ведутся методами оптической и инфракрасной спектрометрии, фотометрии и инфракрасной радиометрии, масс-спектрометрии, газовой хроматографии, рентгеновской флюоресцентной спектрометрии. Выполняются метеорологические измерения на поверхности и в атмосферах других планет.

Наряду с экспериментальными исследованиями большое внимание уделяется также разработке теоретических проблем, главным образом в области моделирования процессов в планетных атмосферах, в том числе на ранних стадиях их эволюции.

Институт активно участвует в обеспечении космических экспедиций исходными данными (разработке инженерных моделей тел Солнечной системы), в подготовке перспективных научных программ исследования планет.

За время своего существования Институт участвовал в подготовке и проведении большинства космических экспедиций, связанных с планетными исследованиями. Силами Института обеспечивалась значительная доля научной «нагрузки» каждой из этих экспедиций. Исследования носили характер последовательно развивающейся программы: ставились новые задачи, существенно совершенствовались от полета к полету методика и научные приборы.

Первая межпланетная трасса была проложена Советским Союзом 12 февраля 1961 г., когда многоступенчатая ракета-носитель вывела на трассу полета к планете Венера автоматическую станцию «Венера-1». В 1967 г. впервые в мире на Землю были переданы радиосигналы с другой планеты — с Венеры: знаменитая «Венера-4» вошла в атмосферу планеты и провела в ней прямые измерения химического состава, давления, плотности, температуры, а также электронной концентрации в ионосфере. Была обнаружена водородная корона Венеры.

К Венере было запущено в общей сложности 16 космических аппаратов серии «Венера» и два аппарата «Вега» с посадочными венерианскими модулями и аэростатными зондами. Если первые «Венеры» (по восьмую включительно) полностью входили в атмосферу планеты, то станции второго поколения разделялись на спускаемые аппараты и орбитальные отсеки. Спускаемый аппарат входил в атмосферу, а орбитальный — либо становился спутником планеты («Венера-9, -10 и -14»), либо пролетал над планетой на некотором удалении и уходил на орбиту вокруг Солнца («Венера-11, -12, -13»). На борту орбитального аппарата находились научные приборы для дистанционных исследований планеты по ее излучению в разных диапазонах длин волн, а также аппаратура для исследования межпланетной плазмы, магнитных полей и для проведения астрономических исследований. Станции «Венера-15, -16» выводились на орбиту спутника планеты; на месте, предназначенном для установки спускаемого аппарата, размещалась большая радиолокационная антенна, с помощью которой выполнялась съемка северного полушария планеты (головная организация — Институт радиоэлектроники АН СССР).

Спускаемые аппараты станций «Венера-9 и -10» впервые в мире передали на Землю панорамы с поверхности другой планеты. Они были получены поистине в экстремальных условиях (температура свыше 450° С, давление почти 100 атмосфер). Сотрудники ИКИ АН СССР принимали активное участие в интерпретации панорам.

Результаты измерений потоков рассеянного солнечного излучения в атмосфере Венеры стали первым шагом в доказательстве того, что именно парниковый эффект является причиной высоких температур на поверхности и в атмосфере планеты. В этом же эксперименте был получен спектр излучения, отраженного поверхностью. Он указал на близость венерианских пород в месте посадки к базальтам.

По оптическим измерениям с узкими фильтрами впервые было оценено содержание воды в атмосфере под облаками (около 0,01% на высоте 40 км).

На орбитальных аппаратах «Венера-9 и -10» силами сотрудников Института были проведены два крупных комплекса научных экспериментов: оптико-физический и плазменный. В первом исследовались спектр свечения верхней атмосферы, долготная зависимость потока уходящего длинноволнового инфракрасного излучения и фотометрических характеристик

планеты в длинноволновом ультрафиолетовом диапазоне, спектр отражения облаков в ближнем инфракрасном диапазоне. Во втором — изучались явления обтекания планеты солнечным ветром. Ярким результатом выполненных исследований стало получение спектра свечения ночной верхней атмосферы Венеры, который до того несколько раз безуспешно пытались наблюдать с Земли. Впервые было надежно зафиксировано присутствие кислорода в атмосфере Венеры. В плазменных экспериментах детально исследовалась структура ударной волны, возникающей при обтекании планеты солнечным ветром и расположенной за фронтом ее турбулентной зоны.

Измерения химического состава атмосферы, проведенные на станциях первого поколения, показали, что основные ее компоненты — это углекислый газ и азот (несколько процентов по отношению к $CO_2$). Однако для понимания многих процессов, происходящих в атмосфере (в том числе переноса энергии, формирования облаков), нужны данные о так называемых малых составляющих, роль которых в этих процессах может быть определяющей. Вопросы происхождения и эволюции планетной атмосферы также нельзя решить без знания изотопного состава.

Комплекс экспериментов по изучению тонкого химического и изотопного состава атмосферы Венеры был проведен на космических аппаратах «Венера-11 и -12». Наиболее важным результатом этих работ стало измерение изотопного состава инертных газов. Изотопы инертных газов можно разделить на две группы: радиогенные, которые образовались в результате радиоактивного распада, и реликтовые, сохранившиеся со времен образования Солнечной системы. Относительное и абсолютное содержание реликтовых изотопов позволяет судить об условиях, сложившихся в протопланетной туманности и в ходе самого процесса формирования планет. Измерения, проведенные советскими станциями, показали примерно равное количество радиогенных и реликтовых изотопов аргона на Венере, в то время как на Земле реликтовых изотопов примерно в 300 раз меньше, чем радиогенных. Как и дефицит воды на Венере, это, очевидно, связано с особенностями формирования планет. Некоторые компоненты атмосферы измерялись одновременно разными приборами. Например, азот и аргон регистрировались и масс-спектрометром, и газовым хроматографом. Газовый хроматограф дал также сведения о двуокиси серы и моноокиси углерода (около 0,01% и 0,003% соответственно; эти данные относятся к высотам 12—42 км).

С помощью оптического спектрометра были получены сотни спектров дневного неба Венеры в диапазоне от 0,4 до 1,2 мкм на высотах от 60 км и до самой поверхности. Их интерпретация впервые дала полный вертикальный профиль наличия воды в атмосфере Венеры, спектральные потоки энергии в ней, вертикальную стратификацию облаков в местах посадки.

С помощью специальных приборов, созданных в Институте, также впервые было обнаружено низкочастотное электромагнитное излучение в атмосфере Венеры, связанное, возможно, с грозовыми разрядами.

Заметим, что по своим характеристикам все научные приборы не уступали аналогичным инструментам американского зонда «Пионер — Венера», а кое в чем существенно их превосходили. На «Венере-13 и -14» эти эксперименты проводились вновь, причем с помощью значительно усовершенствованных приборов, что позволило, в частности, существенно расширить список молекул, идентифицированных масс-спектрометром, впервые надежно измерить изотопные отношения неона. Оптический эксперимент был дополнен исследованиями в ультрафиолетовом диапазоне и измерениями спектров излучений, приходящих с разных направлений.

Солнечная энергия, поглощенная планетой в видимом диапазоне, переизлучается в инфракрасном на длинах волн более 5 мкм. Спектр этого «уходящего» излучения имеет сложный вид. Он зависит от газового состава атмосферы, состава частиц облаков, их вертикальной структуры, температуры атмосферы в излучающей области. По инфракрасным спектрам уходящего излучения можно восстановить эти характеристики (причем во многих местах планеты) в зависимости от широты, долготы, времени суток. В связи с этим важной задачей является получение таких спектров с достаточно высоким пространственным разрешением (около 100 км); это может быть сделано только с искусственного спутника Венеры. Эксперимент по инфракрасной спектрометрии Венеры был подготовлен ИКИ АН СССР в кооперации с институтами АН ГДР и проведен на станции «Венера-15». Было определено содержание $H_2O$ и $O_2$ на высотах около 60 км на разных широтах, измерено широтно-долготное поле температур в диапазоне высот 60—90 км, обнаружены резкие локально-временны́е вариации в структуре верхнего слоя облаков.

Новым шагом в советских исследованиях Солнечной системы стал проект «Вега». В отличие от всех предыдущих он был многоцелевым: в одном запуске предусматривались

исследования планеты Венеры (с помощью спускаемых аппаратов и аэростатных зондов) и кометы Галлея (при пролете космической станции через ее кому).
На спускаемых аппаратах впервые был получен прецизионный температурный (с точностью порядка 1 К) вертикальный профиль атмосферы Венеры во всем диапазоне высот: примерно от 50 км до поверхности. Оба эксперимента проводились совместно с французскими учеными. Впервые выполнены прямые измерения содержания серной кислоты в облачном слое. Это основная составляющая аэрозольных частиц, по крайней мере в верхней части облаков. Однако элементный анализ, проведенный рентгеновским флюоресцентным методом, показал, что в нижних ярусах облаков в состав частиц входят также хлор и фосфор. С помощью оптического анализатора размеров частиц было выяснено, что в их распределении доминирует так называемая мода 1 (степенной спектр с показателем около 4), а коэффициент преломления близок к 1,5. Вертикальная структура облаков в местах посадки спускаемых аппаратов значительно отличается от полученной в ряде предыдущих экспериментов.
Выдающимся успехом стал полет двух аэростатов в атмосфере Венеры, продолжавшийся около двух суток на высоте 54 км. Это были первые аэростаты в атмосфере другой планеты. В научную программу входили измерения давления, температуры, скорости ветра, параметров турбулентности, объемного коэффициента рассеяния облаков, освещенности. Программа готовилась и реализовывалась в кооперации с учеными Франции и США. Сеть радиотелескопов, расположенных по всему земному шару и объединенных в международную систему сверхдлиннобазового интерферометра, определяла положение и скорость аэростатов. Были измерены средние скорости зонального ветра на высоте дрейфа (около 67 м/с), меридионального ветра (около 4 м/с), обнаружены сильные турбулентные движения (амплитуда до 2 м/с), орографические эффекты в атмосферных движениях.
Получен профиль изменения солнечного потока при переходе с ночной стороны на дневную.
Со спускаемых аппаратов и аэростатов одновременно было обнаружено ночное свечение тропосферы, обусловленное, по-видимому, тепловым излучением поверхности на длинах волн около 1 мкм.
Успехи советских ученых в изучении планеты Марс по сравнению с результатами венерианской программы выглядят значительно скромнее.
В 1971 г. к Марсу стартовали автоматические станции «Марс-2» и «Марс-3». Со станции «Марс-2» была сброшена капсула, достигшая поверхности планеты, а от «Марса-3» отделен спускаемый аппарат, который совершил мягкую посадку. Какой-либо научной информации от этих посадочных устройств получить не удалось. Сами станции стали искусственными спутниками Марса. С их помощью было выполнено 11 научных экспериментов, семь из которых связаны с изучением планеты: дистанционные измерения температуры ее грунта, исследования рельефа поверхности, состава и строения атмосферы. Измерения температуры поверхности при помощи ИК-радиометра показали, что во время пылевой бури она ниже, чем при нормальной прозрачности атмосферы. По данным этого эксперимента определялась также тепловая инерция грунта, а по ней, в свою очередь, оценивалась характерная величина зерен грунта (0,05—0,5 мм). Фотометр, настроенный на полосу поглощения воды, дал профиль ее содержания вдоль подспутниковой зоны.
В 1974 г. к Марсу были запущены еще четыре станции — «Марс-4, -5, -6, -7». Целью нового космического эксперимента стали комплексные исследования планеты одновременно с орбиты ее искусственного спутника и непосредственно на поверхности.
На спускаемом аппарате станции «Марс-6» впервые в истории космонавтики выполнялись прямые измерения температуры и давления марсианской атмосферы.
С помощью искусственного спутника «Марс-5» Институтом были проведены два эксперимента по исследованию химического состава атмосферы. Один из них — измерение содержания водяного пара в атмосфере — показал, что в отдельных районах Марса оно может достигать 100 мкм осажденной воды. Это значительно больше, чем наблюдалось автоматической станцией «Марс» в аналогичном сезоне двумя годами раньше. Кроме того, оказалось, что в областях, отстоящих друг от друга всего на несколько сот километров, содержание воды может различаться в 3—4 раза.
Эксперимент на «Марсе-5» показал присутствие небольшого количества озона в низких широтах. Этот результат имел важное значение для понимания фотохимических процессов в атмосфере планеты.
При помощи фотометра на линии «Лайман — альфа» были определены плотность и размеры водородной короны Марса — самой внешней части его атмосферы.
Вновь были проведены ИК-радиометрия поверхности, фотометрия в ближнем ИК-диапазоне, в том числе в полосах $CO_2$, а также в видимом диапазоне. Проводились

измерения и методом поляриметрии.
Фотометрические и поляриметрические измерения показали, что зерна реголита имеют более мелкую микроструктуру — порядка одного микрона.
Измерения радиоизлучения планеты на волне 3,4 см с помощью радиотелескопа позволили получить данные о температуре и диэлектрической постоянной грунта Марса до глубин в несколько десятков сантиметров.
Начиная с середины 80-х годов наряду с продолжением исследований планет ученые обратились и к совершенно иному классу объектов Солнечной системы — малым телам: кометам и астероидам. Малые тела, именно из-за их малой массы и большой удаленности от Солнца, не должны были сильно измениться за время своего существования. Следовательно, их изучение может дать уникальную информацию о процессах, протекавших в период зарождения Солнечной системы.
Исследования малых тел уже внесли огромный вклад в планетную космогонию. Имеются в виду результаты изучения метеоритов — уникальных образцов космического вещества, которые природа сама «присылает» на Землю. Метеориты являются осколками более крупных тел, главным образом астероидов, и образуются в результате их разрушения при взаимных столкновениях. Есть еще класс очень малых метеоритов (так называемые частицы Браупли), имеющих, вероятно, кометное происхождение. Пока, однако, не ясно, каковы связи между разными типами малых тел, не известен ряд их важнейших характеристик. Особенно загадочны кометы. В то же время они представляют собой наибольший интерес для исследователей, поскольку имеют газовую и пылевую компоненты. Это позволяет получить уникальную информацию, включая сведения об элементном и даже изотопном составе без посадки на основное тело, представляющей очень сложную техническую задачу (хотя разрабатываются и такие проекты).
Исследования комет крайне важны и для диагностики физических условий в межпланетном пространстве. Использование этих небесных тел в качестве естественных зондов — единственная в настоящее время возможность исследовать те участки космического пространства, которые пока труднодоступны для межпланетных станций.
Осуществление проекта «Венера — комета Галлея» стало первым важным шагом в реализации программы исследований малых тел Солнечной системы средствами космической техники. В нем участвовали два идентичных космических аппарата — «Вега-1» и «Вега-2». В качестве базовой конструкции использовались автоматические межпланетные станции «Венера» второго поколения. Для проекта «Вега» было характерно широкое привлечение иностранных участников на уровне космических агентств, институтов и отдельных исследователей. Для коллективного решения вопросов, возникающих в ходе совместной работы по проекту, был создан Международный научно-технический совет под председательством академика Р. З. Сагдеева.
Программа полета космических аппаратов «Вега» была такова. Стартовали аппараты 15 и 21 декабря 1984 г. В июне 1985 г. они достигли окрестности планеты Венера. За двое суток до пролета планеты от них отделились спускаемые аппараты, которые продолжили движение по попадающей траектории и вошли в атмосферу Венеры. Импульсом, сообщенным корректирующим двигателем, пролетные аппараты были переведены на траекторию, обеспечивающую пролет мимо планеты и возможность ретрансляции информации, поступающей со спускаемых аппаратов. Затем в результате гравитационного маневра в поле тяготения Венеры пролетные аппараты перешли на траекторию встречи с кометой Галлея, состоявшейся в начале марта 1986 г.
О «венерианской» части проекта уже говорилось. Расскажем теперь об исследованиях кометы Галлея. Какими были научные цели экспедиции космических аппаратов к комете Галлея? Прежде всего, речь шла о выяснении природы ядра и атмосферы кометы. Использовались два подхода: во-первых, дистанционные измерения при помощи оптических приборов, и во-вторых, прямые измерения вещества (газа и пыли), покидающего ядро и пересекающего траекторию движения аппарата. Кроме того, исследовалась сложная картина процессов, которая наблюдается при встрече ионизованной компоненты кометного газа с потоком солнечного ветра.
Оптические приборы размещались на специальной платформе, которая поворачивалась во время пролета ядра, автоматически отслеживая направление на него. Эта платформа была разработана совместно чехословацкими и советскими специалистами и изготовлена в Чехословакии. Одним из главных элементов оптического комплекса была телевизионная система, состоящая из длиннофокусной и короткофокусной камер. С помощью длиннофокусной камеры можно было различать на расстоянии 10 000 км детали

размером около 100 м. Короткофокусная, имея разрешение похуже, обладала более широким полем зрения, поэтому она быстро находила ядро кометы (самую яркую ее часть) и, выдавая сигналы на поворотную платформу, удерживала его в поле зрения длиннофокусной камеры.
В состав телевизионной системы входил микропроцессор, который управлял работой камер: выполнял предварительную обработку изображений, выбирал каналы, фильтры, определял экспозицию.
Телевизионная система была создана учеными СССР, Венгрии и Франции.
В оптический комплекс, установленный на платформе, помимо телевизионной системы входили также приборы, которые должны были обеспечивать проведение детальных спектроскопических исследований химического состава различных областей атмосферы (комы) и хвоста кометы. Это, в частности, трехканальный спектрометр (ТКС), разработанный и изготовленный научными учреждениями Болгарии, СССР и Франции, и инфракрасный спектрометр (ИКС), созданный во Франции. Испытания инфракрасного спектрометра проводились в СССР совместно французскими и советскими специалистами. Совместно выполнялась и интерпретация данных.
Одна из важнейших целей этих исследований — поиск первичных, или, как их еще называют, «родительских» молекул. Наземными спектроскопическими измерениями легко определяются молекулы «дочерние», т. е. вторичные. А вот «родительские» молекулы ни разу не наблюдались. Дело в том, что при переходе кометного льда из твердого состояния непосредственно в газообразное газ вылетает с поверхности кометы почти со скоростью звука. В районе ядра плотность его очень велика, поэтому молекулы интенсивно взаимодействуют друг с другом и в них происходят существенные химические изменения. В ходе этих процессов и образуются «дочерние» молекулы.
Оптические исследования газового состава атмосферы кометы должны были дополняться его измерениями при помощи масс-спектрометра нейтрального газа (ИНГ), разработанного в ФРГ при участии специалистов Венгрии и СССР.
Как уже отмечалось, кометная атмосфера состоит не только из газовых, но и из пылевых частиц. При относительной скорости сближения космического аппарата с кометой, равной почти 80 км/с, эта пыль представляет большую опасность. Поэтому пришлось создавать специальные многослойные экраны для защиты аппарата от соударений с пылевыми частицами. Однако именно большая относительная скорость частиц и была использована для определения их состава. Если на пути такой частицы поставить мишень, то при ударе о нее частица взрывообразно испаряется и превращается в облачко плазмы. Масс-спектрометр определит ее состав, а следовательно, и состав ядра кометы, из которого эта частица была вырвана. Такова идея эксперимента ПУМА. Прибор для этих целей был создан совместно специалистами СССР, ФРГ и Франции.
Ряд других приборов, разработанных советскими специалистами, предназначался для измерения физических характеристик пылевого потока — числа частиц различной массы, их размеров, плотности. Разные эффекты использовались для этих измерений, в том числе пьезоэлектрический, ионизация и световые вспышки при ударе, изменение светового потока от Солнца при пробивании тонкой пленки.
Фотоионизация газа, покидающего ядро, приводит к образованию вокруг него плазменной оболочки (ионосферы), состоящей из ионизованных молекул. Вместе с нейтральным газом ионы движутся со скоростью около 1 км/с, однако это движение подчиняется другим законам. На нейтральный газ не действуют никакие силы, кроме гравитации и светового давления. А на кометные ионы «давит» солнечный ветер. При встрече солнечного ветра с ионосферой должны образовываться ударная волна, усиливаться магнитное поле, возникать волновые процессы, сопровождающиеся электромагнитными колебаниями. Ускорение кометных ионов в магнитном поле солнечного ветра может достигать высоких энергий.
Для исследования этих процессов на станциях «Вега-1» и «Вега-2» были установлены хорошо продуманные комплексы приборов. Один из этих приборов — магнитометр МИША, разработанный австрийскими учеными. Спектрометр кометной плазмы ПЛАЗМАГ, разработанный специалистами Венгрии, СССР и ФРГ, предназначался для исследований концентрации, состава и энергии ионов как солнечного ветра, так и кометной плазмы.
Для обнаружения ионов высоких энергий, ускоренных магнитным полем солнечного ветра, предназначался спектрометр энергичных частиц ТЮНДЕ-М, разработанный учеными Венгрии, СССР и ФРГ.
Два прибора использовались для регистрации низкочастотных (Польша, СССР, Чехословакия) и высокочастотных (СССР, Франция) плазменных волн.
Анализ результатов измерений, проведенных при помощи приборов плазменного комплекса, должен был существенно уточнить

представления о явлениях, которые наблюдаются при взаимодействии солнечного ветра с кометой.
Обработка фотографий кометы Галлея, полученных с борта станций, позволила сделать вывод, что ядро кометы представляет собой вытянутое монолитное тело неправильной формы. Максимальный размер его вдоль наибольшей оси оценивается в 14 км, а в поперечнике — около 7 км. Форму ядра одни сравнивают с картофелиной, другие — с земляным орехом (арахисом), третьи — с бананом, четвертые — со стоптанным башмаком. Ядро обладает очень низкой отражательной способностью.
Напомним, что до последнего времени существовали три наиболее вероятные гипотезы о физической структуре ядра кометы.
Это, прежде всего, модель, описывающая ядро как единое твердое тело, состоящее из конгломерата замерзших газов и каменистого метеоритного вещества.
По другой гипотезе, ядро — плотный рой различных частиц.
Наконец, гипотеза, что ядро — это множество малых частиц, гравитационно связанных между собой.
Гипотеза, согласно которой комета — «летающий айсберг», была принята за основу при разработке инженерной модели кометы для проекта «Вега». И она подтвердилась. Двойная или более сложная множественная структура (несколько отдельных тел) почти исключена.
Летучие вещества, льды, определяющие специфику поведения кометы, перемешаны в ядре с тугоплавким веществом, которое преобладает в его поверхностном слое. Толщина этого тугоплавкого слоя — от одного до нескольких сантиметров.
Сопоставление изображений, полученных с «Веги-1» и «Веги-2» при одновременной съемке с разных сторон, позволило определить период вращения ядра — один оборот за 50—55 ч. Наклонение экватора к плоскости орбиты меньше 15°.
Измерения, выполненные с помощью радиометрического канала спектрометра инфракрасного излучения, показали, что поверхность ядра горячая — примерно 100° С. Это намного больше, чем предсказывалось для ледяной модели. По мнению ученых, столь высокая инфракрасная температура объясняется наличием изолирующего слоя поверхностного пористого черного тугоплавкого вещества. Этот слой принимает солнечное излучение, часть его переизлучает в инфракрасном диапазоне, часть передает ледяному конгломерату. Молекулы водяного пара, образующиеся в результате испарения, диффундируют сквозь поры вверх и покидают комету. При этом они увлекают более мелкие частицы пыли.
Поверхностный слой в отдельных местах время от времени взламывается, и тогда образуется активная область с особо мощным истечением вещества.
Возможно, что аналогом ядра кометы, разумеется в сильно уменьшенном виде, может служить мартовский сугроб снега на улице города. Покрывающий его слой грязи может нагреваться в солнечные дни до высоких температур и в то же время он долго сохраняет сугроб от таяния.
Тугоплавкий поверхностный слой ядра кометы очень быстро (примерно за сутки) обновляется. Верхние его частицы отрываются и уносятся газом, а снизу прилипают новые. При этом толщина его постепенно должна расти и в итоге, спустя какое-то время, исчисляемое, по-видимому, десятками и сотнями тысяч лет, комета может потерять свою активность и станет астероидом.
В целом, по данным «Веги-1» и «Веги-2», с поверхности ядра ежесекундно испарялось порядка 40 т воды. Измерения прибором ИКС показали, что вторым по количеству компонентом является углекислый газ. По спектрам, полученным при помощи этого прибора, было установлено также, что в газовом потоке, покидающем ядро, содержится значительное количество сложных органических молекул. Органическое вещество присутствует и в пылевых частицах, состав которых анализировался прибором ПУМА. Из анализа результатов этих двух экспериментов следует, что в ядре кометы Галлея (и, вероятно, ядрах других комет) имеется много органического вещества. Это новый факт в физике комет.
Удалось оценить среднюю плотность ядра кометы Галлея. Объем его был получен в результате обработки телевизионных снимков. По грубым прикидкам он составляет примерно $5 \cdot 10^{11}$ м$^3$. Масса ядра определялась по реактивному эффекту, который создавался выбросом газа и пыли в сторону Солнца. Расчеты выполнялись независимо советскими и зарубежными учеными. Результаты получились близкими — масса ядра около 30 млрд. т. Таким образом, средняя плотность ядра составляет 0,5 г·см$^{-3}$.
Зная массу и скорость ее потери (40 т/с), можно определить характерное «время жизни» кометы — получается порядка 50 000 лет. На самом деле оно может быть бóльшим, так как активность кометы, вероятно, уменьшается от одного оборота к другому.
Спектр солнечного излучения, рассеянного кометной пылью, был проанализирован совместно с данными пылевых счетчиков. Наилучшее совпадение оптических и прямых измерений получается, если принять для частиц плотность, существенно (в несколько раз) меньшую единицы. Это означает, что

кометные пылинки имеют пористую структуру. Подобные частицы находят на поверхности Земли, и высказывались предположения, что это образцы кометной пыли. Эксперименты с пылевыми счетчиками показали, что около миллиона тонн пыли покидает кометное ядро ежесуточно. Кроме того, имеются эффекты, связанные с различным влиянием светового давления на движение частиц разных масс и размеров. Весьма неожиданным оказался характер распределения частиц по размерам: было обнаружено аномально большое количество малых частиц размером порядка сотой доли микрометра. Измерения, выполненные приборами плазменного комплекса станций «Вега-1» и «Вега-2», показали, что газ, испаряющийся с ядра кометы и распространяющийся в межпланетную среду со скоростью около одного километра в секунду, в конечном счете полностью ионизируется солнечным излучением. В результате возникает гигантское плазменное образование размером около одного миллиона километров, создающее препятствие на пути сверхзвукового потока солнечного ветра. Даже магнитосфера Земли имеет в 10—15 раз меньшие размеры. Перед кометой в сверхзвуковом потоке солнечной плазмы образуется своеобразная ударная волна, не похожая по своей структуре на хорошо изученные ударные волны перед Землей и другими планетами. Впервые выполненные прямые измерения плазмы и плазменных волн во внутренней части комы с борта аппаратов «Вега» помогут лучше понять особенности образования плазмы и излучения газа не только в кометных, но и в ряде других астрофизических объектов, в которых взаимодействие плазмы играет большую роль.

Итак, в результате экспедиции космических аппаратов к комете Галлея удалось получить большой объем данных о составе ее ядра, физических характеристиках, взаимодействии с солнечным ветром, нарисовать реальную картину природного объекта, ранее так детально не наблюдавшегося. Эти данные позволили сделать выбор в пользу одной из теоретических моделей кометы и существенно уточнить ее.

Новые данные о комете Галлея способствовали выдвижению новых идей о роли комет в Солнечной системе. Предполагается, что наблюдаемые кометы приходят из галактического «резервуара» кометных ядер ($10^{11}$—$10^{12}$) — облака Оорта, расположенного на окраинах Солнечной системы.

Как следует из расчетов многих ученых, гало, или собственно облако Оорта, не может, по-видимому, удержаться на своем месте в течение всего времени существования Солнечной системы (4,5 млрд. лет), поскольку действие гравитационного поля гигантских комплексов молекулярного водорода в Галактике оказывается сильнее притяжения гало к Солнцу. Однако гало наблюдается по приходящим из него кометам и, следовательно, непрерывно пополняется из постоянного «резервуара» — внутреннего кометного облака, в котором число кометных ядер еще больше — до $10^{14}$.

Ученые Института доктора физико-математических наук Л. С. Марочник и Л. М. Мухин обратили внимание на то, что если эти оценки правильны и если предположить, что типичная масса ядра во внутреннем резервуаре такая же, как у кометы Галлея, то полная масса комет в Солнечной системе превышает массу планет.

Если это так, то радикально меняется и представление о распределении углового момента в Солнечной системе. До сих пор считалось, что в Солнце сосредоточено 99,9% массы всей материи Солнечной системы, а в планетах — 98% ее углового момента. Теперь же получается, что в Солнце сосредоточено несколько более 97% массы, но практически весь угловой момент сосредоточен в облаке Оорта. При этом полный угловой момент Солнечной системы должен быть в 10 или даже 100 раз бóльшим, чем считалось ранее.

Следующим этапом в программе исследований Солнечной системы стал многоцелевой комплексный проект «Фобос», включающий в себя: исследования спутника Марса Фобоса дистанционными методами при пролете на близком расстоянии от него и прямыми измерениями с малых посадочных зондов; исследования Марса с орбиты его искусственного спутника; исследования Солнца; плазменные исследования. Этот проект так же, как и проект «Вега», являлся международным. Совместными усилиями ученых 14 стран и Европейского космического агентства были разработаны сложные планетный, плазменный и солнечный комплексы научной аппаратуры. Планетный комплекс предусматривал, в частности, активные методы исследований: дистанционный лазерный масс-спектроскопический анализ состава грунта и дистанционный масс-анализ вторичных ионов, а также радиолокационное зондирование Фобоса. Пассивные методы исследований включали в себя съемку и картографирование поверхности, радиометрические (тепловые) и спектральные измерения, исследования гамма-излучения поверхности Фобоса и Марса, нейтронного излучения поверхности Фобоса, спектрометрические исследования химического состава атмосферы Марса.

Предусматривались также контактные методы исследований с помощью долгоживущей автономной станции (ДАС) и посадочного передвигающегося зонда (ПРОП).
Разумеется, марсианский спутник Фобос был одной из основных целей миссии. Однако, к сожалению, полностью реализовать программу проекта «Фобос» не удалось. В космонавтике неудачи возможны, как во всяком другом трудном и абсолютно новом деле. Еще К. Э. Циолковский писал о полетах в космос: «Работающих ожидают большие разочарования, так как благоприятное решение вопроса гораздо труднее, чем думают самые проницательные умы».
Космические аппараты «Фобос-1» и «Фобос-2» были запущены 7 и 12 июля 1988 года. В начале сентября связь с «Фобосом-1» была потеряна. Случилось это из-за ошибки в команде, выданной на борт аппарата. В результате отключилась система ориентации и солнечные батареи «отвернулись» от Солнца. Бортовые системы стали получать все меньше энергии, и автоматическая станция оказалась не в состоянии выполнять какие-либо команды и реагировать даже на мощные радиосигналы с Земли.
В связи с потерей одного аппарата были предприняты дополнительные меры для повышения надежности работы «Фобоса-2». В частности, вместо запланированных двух коррекций траектории на участке подлета к Марсу была проведена только одна. Будущая орбита при этом повышалась, что ухудшало условия работы научной аппаратуры, предназначенной для исследований Марса и околопланетного пространства, но повышало надежность управления станцией.
Через 200 суток после старта, 29 января 1989 г., «Фобос-2» вышел на сильно вытянутую эллиптическую орбиту над марсианским экватором. Крайние точки орбиты отстояли от поверхности планеты на расстояния 819 км и 81 214 км. На такой орбите станция совершила 4,5 оборота. Исследования Марса проводились при пролете аппарата на достаточно малых высотах.
Затем в результате новых включений корректирующей двигательной установки траектория полета была последовательно преобразована в эллиптическую с минимальным удалением от поверхности Марса ( в перицентре) 6400 км, а затем в круговую, расположенную выше орбиты Фобоса на 350 км,— так называемую орбиту наблюдения.
С орбиты наблюдения в течение трех суток продолжались ранее начатые исследования самого Марса, его атмосферы и околопланетного пространства. Затем, когда космический аппарат находился на удалении от 860 до 1130 км от Фобоса, был проведен первый сеанс его телевизионной съемки. Было получено девять телевизионных изображений Фобоса. Переданная на Землю видеоинформация использовалась для уточнения параметров движения Фобоса и самого космического аппарата с целью последующего их сближения. Когда расстояние между Фобосом и космическим аппаратом сократилось до 320—440 км, был проведен еще один сеанс телевизионной съемки. Полученные при этом изображения марсианского спутника использовались как для баллистических целей, так и для изучения рельефа и его деталей.
После уточнения параметров орбиты Фобоса, 21 марта, космический аппарат перешел на квазисинхронную с движением марсианского спутника орбиту, то удаляясь от него на расстояние около 400 км, то приближаясь до 200 км. Была выполнена еще одна телевизионная съемка Фобоса с достаточно высоким разрешением.
Одновременно велась подготовка к выведению космического аппарата в первых числах апреля в область инерциального пространства, расположенную с внешней по отношению к Марсу стороны Фобоса и отстоящую от его поверхности на расстояние 35 км. После этого космический аппарат, используя лишь информацию собственных бортовых радиотехнических средств и телевизионной системы, должен был приступить к выполнению совершенно нового элемента космического полета — сопровождению небесного тела и сложному маневрированию над его поверхностью. Планировалось, что, «зависнув» на высоте около 50 м над поверхностью марсианского спутника, «Фобос-2» будет довольно долго двигаться вместе с ним, проводя телевизионную съемку, а также выполняя многочисленные эксперименты, включая комплексные исследования поверхности Фобоса посредством многократного воздействия на нее лазерного и ионно-пучкового излучения.
В конце участка «бреющего» полета на поверхность Фобоса должны были десантироваться посадочные станции — долгоживущая и подвижная.
Однако 27 марта после выполнения разворотов космического аппарата с целью проведения телевизионной съемки Фобоса и последующей передачи полученной информации на Землю установить надежную радиосвязь со станцией не удалось.
Таким образом, полностью выполнить предусмотренную проектом «Фобос» программу экспериментов не удалось. В то же время значительный объем исследований был проведен на трассе перелета Земля — Марс

и при движении космического аппарата по околомарсианским орбитам еще до потери с ним связи.
Интересные результаты получены, например, в изучении космических гамма-всплесков и жесткого излучения солнечных вспышек в советско-французском эксперименте АПЭКС, в ходе которого было достигнуто наиболее высокое для современной гамма-астрономии временно́е разрешение.
Было зарегистрировано более 50 интенсивных гамма-всплесков. При этом обнаружены новые их свойства: тонкая временна́я структура профилей с характерным временны́м масштабом около нескольких миллисекунд, многокомпонентность и быстрая переменчивость спектров. Зафиксированы также многочисленные спектральные детали всплесков. Для одного из наиболее мощных событий измерена переменность потока гамма-лучей с характерным временем менее 1 мс, зарегистрировано излучение с энергиями около нескольких десятков мегаэлектрон-вольт и обнаружены спектральные линии с энергиями 1 МэВ.
Для некоторых наиболее мощных солнечных вспышек обнаружено интенсивное ядерное излучение.
К числу безусловных достижений надо отнести проведенные измерения составляющих околопланетной плазмы. Исследования выполнялись с помощью комплекса аппаратуры, который включал в себя приборы для изучения магнитного поля, электрических и магнитных волновых излучений и других явлений, определяющих физику плазменных процессов. В частности, изучение плазменных волн всегда считалось одним из основных диагностических методов исследований плазмы. Именно анализ плазменных колебаний в сочетании с измерениями магнитного поля и характеристик плазмы позволяют обеспечить надежную идентификацию процессов в обтекающем планету потоке солнечного ветра и в магнитосферах планет. Более того, исследования плазменных волн позволяют в ряде случаев выделить новые явления, которые не удается обнаружить другими методами измерений.
Первые исследования марсианской магнитосферы и ее взаимодействия с солнечным ветром были выполнены в 1971—1974 гг. с борта искусственных спутников Марса — «Марс-2», «Марс-3» и «Марс-5». Были обнаружены ударная волна, шлейф магнитосферы, определены ее форма и размеры, получены указания на существование собственного слабого магнитного поля и выявлена горячая плазма планетарного происхождения как в самой магнитосфере, так и в обтекающем потоке. В результате анализа этих данных была заложена основа современных представлений о внешних оболочках Марса и протекающих в околопланетном пространстве процессах. Однако эти представления носили ограниченный характер, поскольку орбиты космических аппаратов мало соответствовали задачам исследований магнитосферы планеты, а возможности установленной на них научной аппаратуры были недостаточными как по информативности, так и по составу.
В то же время марсианская атмосфера вызывает особый интерес специалистов. Дело в том, что, поскольку величина собственного магнитного поля Марса мала, поток плазмы из горячей солнечной короны (солнечный ветер) должен достигать верхних слоев атмосферы планеты прежде, чем останавливается ее магнитным полем. В результате магнитосфера Марса формируется в условиях взаимодействия солнечного ветра как с магнитным полем планеты, так и с ее атмосферой. Следовательно, она должна существенно отличаться и от гигантских магнитосфер планет с сильным магнитным полем, как, например, у Земли, и от наведенной магнитосферы Венеры, образующейся при взаимодействии солнечного ветра непосредственно с ионосферой планеты.
Из-за отсутствия в прежних экспедициях космических аппаратов к Марсу приборов, измеряющих параметры плазмы в широком угловом и энергетическом диапазонах, не было данных и об ионном составе и характеристиках различного сорта ионов в околомарсианском пространстве. Знание этих параметров марсианской ионосферы особенно важно для понимания комбинированного характера взаимодействия планеты с солнечным ветром.
Высокая маневренность «Фобоса-2», многократные изменения его орбиты позволили исследовать как область взаимодействия солнечного ветра с магнитным полем и атмосферой планеты, так и ее протяженный магнитный шлейф, который образуется при обтекании Марса потоком солнечного ветра.
Оказалось, что в марсианской магнитосфере, как и в земной, хорошо реализуются такие ее структуры, как магнитопауза (граница магнитосферы) и плазменный слой в хвосте магнитосферы, а также стоящая перед ней в потоке солнечного ветра ударная волна. Удалось выяснить и другие более тонкие детали структуры марсианской магнитосферы.
Внутри магнитосферы, заполненной сравнительно холодной плазмой планетного происхождения, довольно часто встречаются островки более горячей солнечной плазмы. Это свидетельствует о том, что

слабое магнитное поле Марса тесно переплетается с межпланетным магнитным полем, создавая естественный «магнитный» канал для проникновения солнечной плазмы в магнитосферу. Такая взаимосвязь полей затрудняет разделение вкладов межпланетного и планетного магнитного полей, и в результате четко идентифицировать параметры собственного магнитного поля Марса не представляется возможным.

Магнитные силовые линии, связанные с планетой и ее атмосферой, создают в потоке проникающего в атмосферу солнечного ветра канал потерь ионов, образующихся из атмосферных атомов и молекул. Энерго-масс-анализатор «Фобоса-2» позволил отдельно измерить потоки солнечной плазмы (в основном, ионы водорода) и плазмы планетарного происхождения (в основном, ионы двуокиси углерода, углекислого газа, молекулярного и атомарного кислорода) и тем самым определить поток планетарных ионов, уходящих в межпланетную сферу. Он составляет примерно $(2—5)10^{25}$ ионов в секунду. Таким образом, атмосфера Марса ежесекундно теряет один — два килограмма вещества. Казалось бы, это немного, но с учетом сильной разреженности марсианской атмосферы (давление на поверхности планеты в сто семьдесят раз ниже, чем на Земле) такие потери могут существенно влиять на ее эволюцию.

Действительно, полученная оценка убегающего из атмосферы Марса потока ионосферных ионов практически равна величине потерь земной магнитосферы через ее магнитный шлейф. Однако для Земли подобная потеря пренебрежимо мала даже в космогоническом масштабе времени. При такой интенсивности потока убегания атмосферный кислород у Земли исчезнет за 10 млрд. лет. Для Марса, который по массе примерно в десять раз меньше Земли, величина потерь 2 кг/с эквивалентна исчезновению с поверхности планеты 1-2-метрового слоя воды за 4,5 млрд. лет, т. е. за всю историю Марса.

Следовательно, можно сделать вывод, что если Марс и в прошлом не обладал достаточно мощным магнитным полем, то взаимодействие солнечного ветра даже с много более плотной атмосферой на ранних стадиях эволюции планеты могло привести к значительной эрозии ее атмосферы. Не исключено, что отсутствие достаточно сильного магнитного поля у Марса и Венеры и является основной причиной потери воды (источника летучих веществ), имевшейся у планет после аккреции из протопланетного вещества.

Еще один неожиданный результат, полученный с помощью «Фобоса-2» — обнаружение квазизахваченной радиации и пучков ускоренных ионов, подобных пучкам ускоренных электронов и ионов над земными полярными сияниями. Правда, «настоящих» радиационных поясов на Марсе, по-видимому, нет, так как энергичные частицы в магнитосфере этой планеты долго не живут. Полярные сияния на Марсе также не обнаружены.

К числу наиболее интересных результатов исследований самого Марса, несомненно, следует отнести радиометрические (тепловые) и спектральные измерения излучения его поверхности. Они выполнялись аппаратурным комплексом, в состав которого входили сканирующий радиометр «Термоскан», комбинированный радиометр-спектрофотометр КРФМ и картирующий инфракрасный спектрометр ИСМ.

«Термоскан» выполнял «тепловую» съемку марсианской поверхности и одновременно принимал коротковолновое излучение, отраженное поверхностью планеты.

Прибор КРФМ регистрировал излучение Марса уже не в двух, а в шестнадцати участках спектра. Шесть из них приходилось на тепловой диапазон, а десять — на коротковолновый, позволяющий проводить фотометрические измерения в ближнем ультрафиолетовом и видимом участках спектра. Выполненные с помощью КРФМ измерения в полосе поглощения углекислого газа позволили, в частности, определить температуру стратосферы Марса. Кроме того, полученные КРФМ данные об особенностях распределения яркости в коротковолновом диапазоне дали возможность выяснить оптические характеристики аэрозольных частиц в атмосфере планеты.

Спектрометр ИСМ работал в 128 участках спектра в диапазоне, наиболее оптимальном для анализа минералогического состава грунта. Выполненные измерения охватывают значительную часть экваториальной зоны планеты. Результаты анализа полученной информации показывают существенные вариации спектральных отражательных характеристик поверхности, что является новым фактом в знаниях о Марсе. Данные о степени гидратации минералов позволяют подозревать присутствие на Марсе осадочных пород.

На «Фобосе-2» проводился также очень интересный эксперимент по исследованию вертикальной структуры гидратации планеты. Исследования выполнялись оригинальным методом, никогда ранее на планетных космических аппаратах не применявшимся. Суть метода в измерении спектра солнечного излучения, прошедшего через атмосферу Марса, когда Солнце наблюдается вблизи края планеты — заходит за него или,

наоборот, восходит, т. е. в условиях затмения Солнца планетой. При этом солнечные лучи идут по касательной и на их пути оказывается максимально возможное количество атмосферного вещества — газа и пыли. Солнечные спектры, полученные в этих условиях в разные моменты времени, соответствуют разным высотам над поверхностью планеты, и, анализируя их, можно получить вертикальное распределение по высоте различных составляющих атмосферы. Измерения проводились в диапазонах, где находятся спектральные полосы углекислого газа, озона, водяного пара.

Анализ данных показал, что содержание водяного пара в атмосфере Марса на высотах 20—60 км близко в среднем к одной десятитысячной доле по отношению к основной составляющей — углекислому газу. Значительные вариации испытывает с высотой содержание озона. Заметим, что вертикальный ход относительного содержания атмосферных газов на Марсе получен впервые.

Все запланированные «планетные» эксперименты выполнены успешно, хотя предполагалось, что объем их будет значительно бóльшим и по охвату поверхности, и по длительности измерений. Существенно, что впервые были опробованы новые методы исследований. Накопленный опыт представляет большую ценность для использования в дальнейших исследованиях Марса.

Одним из важных итогов реализации проекта «Фобос» стало получение серии снимков естественного спутника планеты — Фобоса.

Съемка далеких космических объектов с передачей изображений на Землю по радиоканалу представляет собой исключительно сложную научно-техническую задачу. Созданный для проведения телевизионного эксперимента комплекс приборов состоял из трех телевизионных камер, спектрометра, системы управления и системы видеозаписи. Официальное название всей съемочной системы — видеоспектрометрический комплекс «Фрегат». Видеоспектрометрический комплекс предназначался для решения двух очень разных по характеру задач проекта. Первая заключалась в сборе навигационной информации, необходимой для уточнения взаимного положения межпланетной станции и марсианского спутника. Вторая — в получении данных о фигуре Фобоса, структуре, микроструктуре и составе его поверхности.

В результате оперативной навигационной обработки изображений Фобоса, переданных с борта станции «Фобос-2», точность прогнозирования положения марсианского спутника была увеличена примерно в десять раз, что позволило успешно выполнить операции по коррекции орбиты межпланетной станции и подвести ее на расстояние 200 км от Фобоса. Проведенные навигационные измерения представляют значительный интерес и для науки. В частности, они позволяют уточнить характеристики приливного взаимодействия Фобоса с Марсом, либрационного движения Фобоса, его массу и плотность, дают некоторую информацию для анализа его внутреннего строения.

В ходе эксперимента с расстояний от 200 до 1100 км было получено около 40 изображений Фобоса, покрывающих более 80% его поверхности. Разрешение снимков, сделанных с минимальных расстояний, составляет 40 м. Сопоставление изображений, полученных с борта «Фобоса-2», со снимками с «Маринера-9» и «Викинга» показывает, что они хорошо дополняют друг друга как по покрытию поверхности спутника Марса, так и по спектральным зонам и условиям наблюдения. Так, «Фобосом-2» наиболее детально снят район к западу от кратера Стикни, который по результатам предыдущих экспедиций был картирован наиболее плохо. Новые изображения позволят значительно уточнить фигуру и карту Фобоса. Впервые были получены изображения Фобоса и в ближнем инфракрасном диапазоне излучения.

В совокупности все телевизионные снимки, сделанные при разных углах наблюдения и освещенности, позволяют проанализировать угловую зависимость яркости поверхности Фобоса и определяющие ее параметры микроструктуры, например характерные размеры частиц реголита. Эти данные необходимы для изучения процессов, происходящих при метеоритной бомбардировке поверхности Фобоса, а также для оценки механических и теплофизических свойств слагающего его вещества.

Большой интерес, по мнению специалистов, представляет и уникальный спектрометрический эксперимент, проведенный в одном из сеансов, когда одновременно с телевизионной съемкой в трех зонах спектра с помощью приборов ИСМ и КРФМ были получены детальные спектры Фобоса в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах, охватывающих область длин волн от 0,32 до 3,2 мкм.

До сих пор о спектре отражения Фобоса было известно очень мало. Он изучался только с Земли, и при этом могли быть получены данные только о среднем спектре отражения марсианского спутника. Наблюдения с помощью приборов ИСМ и КРФМ впервые дали сведения о том, как спектр

меняется от места к месту. Средняя отражательная способность Фобоса очень низкая, около 4%, и почти не зависит от длины волны. Эти данные позволяют предполагать, что вещество поверхностного слоя Фобоса в среднем близко к углистым хондритам — одному из типов метеоритов. Экспресс-анализ результатов эксперимента ИСМ дал возможность сделать вывод о заметной неоднородности состава поверхности, а также о более низком содержании воды в минералах, слагающих породы Фобоса, чем ожидалось. Установлено, что дневная температура Фобоса около 300 К (27° С).

К сожалению, приборы ИСМ и КРФМ пронаблюдали Фобос всего один раз, поэтому данных для надежной интерпретации получено мало.

Интерпретация данных, полученных с борта космических аппаратов, весьма расширила представления о Марсе, но многие вопросы, касающиеся его природы, либо не задавались, либо не нашли ответа, либо требуют более глубокого изучения. Вместе с тем за прошедшие годы появились и новые идеи в части средств исследований этой планеты. Имеется в виду применение для изучения динамики атмосферы аэростатных зондов, минералогическое картирование поверхности и ее тепловая и инфракрасная съемка, исследование вертикальной структуры атмосферы по измерениям спектра солнечного излучения в условиях затмения Солнца Марсом.

Накопленный за прошедшие годы опыт космических планетных экспериментов показал, что наиболее эффективна по научному выходу программа, состоящая из ряда полетов к одному объекту с интервалом в несколько лет; при этом каждая предыдущая экспедиция создает базу для новых более сложных миссий. Именно так обстояло дело с Луной и Венерой. Сейчас подобная программа разработана в отношении Марса. Первый этап этой программы намечено осуществить в 1994 г. Предусматриваются глобальные исследования его поверхности и атмосферы с помощью искусственных спутников планеты; аэростатных зондов, вводимых в атмосферу; метеорологических станций и пенетраторов, доставляемых на марсианскую поверхность.

В 1996 г. планируется продолжить исследования Марса и доставить на Землю образцы грунта с Фобоса.

В 1998 г. на поверхности Марса должен начать работу первый в истории планетных исследований самодвижущийся аппарат (марсоход) с буровой установкой на борту.

На 2001 г. планируется доставка на Землю образцов марсианского грунта.

2003—2015 гг.— отработка средств марсианской пилотируемой экспедиции.

Институт космических исследований АН СССР является головной организацией по реализации программы «Марс-94».

Проект «Марс-94» предусматривает запуск к Марсу в октябре 1994 г. двух идентичных космических аппаратов. Через 11 месяцев они встретятся с планетой и станут ее искусственными спутниками. Каждый из аппаратов выбросит «десант» на поверхность Марса: аэростатный зонд, две малые метеостанции, два пенетратора. Орбита спутника эллиптическая, высота в перицентре 300 км, в апоцентре 18 000 км, наклонение 50—70°, длительность активного существования около одного года, общая масса научной аппаратуры около 250 кг.

Научные задачи:

фотографирование областей планеты, наиболее интересных с точки зрения геологической истории, эволюции климата, выбора мест посадки для будущих проектов (две телевизионные камеры на поворотной платформе);

дистанционное определение состава пород (два инфракрасных, гамма- и нейтронный спектрометры), глубины залегания вечной мерзлоты (радар), температуры поверхности (инфракрасный радиометр);

дистанционные измерения локально-временны́х и высотных вариаций состава, температуры, давления атмосферы (ионосферные спектрометры, спектрометрия солнечных затмений, анализ радиозатмений);

прямые измерения плотности и состава верхней атмосферы (по торможению при спуске посадочных аппаратов и масс-спектрометром);

измерения магнитного поля и околопланетной плазмы (магнитный и плазменный комплексы).

Ко времени подлета советского аппарата к Марсу на околомарсианской орбите уже будет находиться американский космический аппарат «Марс-Обсервер» (запуск в 1992 г.). Научный состав и программа обоих аппаратов являются в значительной степени взаимодополняющими. Главное отличие советской миссии в том, что она содержит посадочные средства, причем нового типа.

В процессе одновременной работы космических аппаратов «Марс-94» и «Марс-Обсервер» предполагается осуществлять обмен данными и оперативную координацию работ. Кроме того, имеется договоренность об установке на борту «Марса-Обсервера» советского приемопередатчика с целью ретрансляции части телеметрической информации с аэростатов, малых станций и, возможно, пенетраторов. Это позволит значительно увеличить объем информации,

планируемой к получению в проекте «Марс-94».
Аэростатная станция устанавливается в десантном модуле, который вводится в атмосферу Марса с эллиптической 12-часовой орбиты. Место ввода аэростата определяется положением перицентра орбиты (точка ввода может отстоять от перицентра по широте всего на несколько градусов). С учетом эволюции со временем широта перицентра орбиты на момент ввода аэростат будет около 40—45°. Аэростатная станция после разворачивания, наполнения газом оболочки и отделения системы наполнения и балласта включает в себя оболочку объемом около 6000 м$^3$, наполненную гелием, приборную гондолу массой 15 кг и гайдроп массой 13 кг. Днем аэростат плавает в атмосфере на высоте нескольких километров над поверхностью. Ночью нижняя часть гайдропа ложится на поверхность, а оболочка и верхняя часть гайдропа всегда находятся над поверхностью. Гайдроп, помимо основной функции — предохранить гондолу и аэростат от касания поверхности, используется для размещения тех научных приборов, для работы которых требуется непосредственная близость или контакт с поверхностью. Эта аппаратура имеет свои источники питания и работает автономно. Данные измерений передаются на гондолу аэростата по радиоканалу. Подъем и опускание аэростата осуществляются за счет нагревания солнечными лучами и, следовательно, увеличения объема гелия днем и охлаждения гелия и уменьшения его объема в вечерние, ночные и утренние часы. Высота поверхности, где аэростат можно ввести в атмосферу, должна быть на один — два километра ниже нулевого уровня поверхности планеты. Возможно, в ходе дальнейшей работы этот диапазон удастся расширить до нулевого уровня. Днем максимальная высота подъема аэростата будет составлять два километра относительно нулевого уровня. Научные измерения планируется выполнять как в свободном полете, так и с гайдропом на поверхности. Полученная информация после предварительной обработки и сжатия записывается на запоминающее устройство емкостью порядка 50 Мбит. С запоминающего устройства, а также с телевизионных камер (в режиме непосредственной передачи) данные передаются по радиоканалу на борт советского и американского искусственных спутников Марса. Сеансы связи со спутниками проводятся в момент их пролета в зоне видимости аэростата. Для американского космического аппарата это около 2 часов дня и 2 часов ночи местного времени. Для советского — в перицентре орбиты днем и на участке удаления от поверхностью — ночью.
Аэростатная станция начинает передавать телеметрию на спутник по запросному сигналу от него. Всего каждые сутки аэростатная станция должна передать не менее 100 млн. бит информации.
Каждая малая станция имеет свой посадочный модуль, снабженный аэродинамическим тормозным экраном, парашютом и амортизационным устройством. Посадочные модули отделяются от космического аппарата за несколько суток до подлета к Марсу. При этом каждому из них сообщается определенное приращение скорости с тем, чтобы они совершили посадку на различных заранее заданных широтах, включая полярные.
Основная задача сети малых станций (четыре из расчета по две на каждом аппарате) — прямые измерения метеорологических параметров с целью изучения общей циркуляции атмосферы и прогнозирования метеоусловий для текущей и будущих миссий. Преимущества такой сети — глобальность охвата, возможность сброса метеостанций в особо интересные районы — каньоны, старые русла рек, малодоступные для исследований другими средствами, охват наблюдениями, благодаря их длительности (не менее марсианского года), всех сезонов, включая сезон пылевых бурь. Аппаратура малых станций обеспечит измерение давления, температуры, влажности, скорости ветра, оптической прозрачности атмосферы. Миниатюрный гамма-спектрометр может дать важную информацию о процессах обмена между атмосферой и твердой поверхностью, водой и газом, об элементном составе оседающей на поверхности планеты пыли. Рассматривается возможность установки на малых станциях однокомпонентного сейсмометра и магнитометра. Сейсмометр будет измерять собственные и приливные колебания планеты, что позволит определить уровень сейсмической активности Марса. Задача магнитометра — измерения локального магнитного поля, переходных процессов при изменении внешнего магнитного поля и восстановления по ним картины проводимости пород на различных глубинах.
Малые станции, так же как и аэростат, будут передавать информацию на советский и американский искусственные спутники Марса по запросному сигналу.
Подогрев бортовой аппаратуры малых станций и ее электропитание осуществляются от плутониевых источников с термоэлектрогенератором и буферным химическим аккумулятором.

Пенетраторы, сброшенные на поверхность Марса, позволят исследовать физико-механические свойства грунта и внутреннее строение планеты. В отличие от малых станций пенетраторы будут осуществлять посадку с высокой скоростью — порядка 100—150 м/с. Конструкция пенетраторов обеспечивает их заглубление при ударе на несколько метров.

В состав научной аппаратуры пенетратора войдут телевизионная камера, набор спектрометров, акселерометр и сейсмометр, магнитометр, метеокомплекс. Пенетраторы вводятся в атмосферу с орбиты искусственного спутника планеты независимо друг от друга после уточнения районов посадки.

После задействования всех четырех пенетраторов начнет функционировать сеть стационарных станций, обеспечивающих длительные сейсмические измерения. Время активного существования пенетраторов один — два года.

Таким образом, исследования, выполняемые с помощью аэростатных зондов, малых посадочных станций и пенетраторов, дадут, прежде всего, данные, которые невозможно получить с аппаратов, обращающихся по орбитам искусственных спутников Марса.

Это телевизионная съемка поверхности с разрешением от сантиметров до нескольких десятков сантиметров; спектральные исследования поверхности с пространственным разрешением от нескольких метров до нескольких десятков метров; измерения магнитного поля ниже ионосферы; исследования пограничного слоя атмосферы и его изменчивости в течение суток; радарное зондирование поверхности с целью определения характеристик марсианских пород до глубины несколько сот метров; исследования элементного состава поверхностного слоя с высоким пространственным разрешением (от нескольких сот метров до нескольких километров); прямые метеорологические измерения на поверхности планеты в разных широтах, исследования процессов обмена водой и углекислым газом между атмосферой и твердой поверхностью, локальные измерения прозрачности атмосферы; механические, тепловые, химические и электрические исследования поверхности до глубины несколько метров.

Как уже упоминалось, одной из задач исследований по программе «Марс-94» станет выбор места посадки аппаратов по будущим проектам, оптимальных с точки зрения безопасности посадки и проведения научных исследований. В частности, основной целью проекта «Марс-98» станет доставка на планету самодвижущихся автоматических аппаратов — марсоходов.

Предварительные проработки и испытания в условиях, максимально приближенных к реальным, показали, что наиболее рациональным представляется использование для ходовой части марсохода шестиколесного движителя со всеми ведущими мотор-колесами и шарнирно сочлененной рамой. Колеса выполняются в виде коническо-цилиндрической обечайки с грунтозацепами. Такая схема ходовой части обладает целым рядом достоинств: малой массой; исключением опасности посадки марсохода «на днище»; повышенной вследствие низкого расположения центра масс продольной и поперечной устойчивостью; возможностью движения по слабым грунтам с большим уклоном с преодолением за счет шарнирно сочлененной рамы достаточно высоких препятствий.

Одна из главных технических проблем исследований с помощью марсохода — сложность управления его движением на расстоянии в миллионы километров. Марсоход должен, например, уметь обходить препятствия, которых 20—30 минут назад он еще «не видел» на своем пути. Примерно столько времени понадобится радиосигналам, чтобы преодолеть расстояние от Марса до Земли и обратно.

Решение проблемы видится в том, чтобы сделать марсоход «системой-экспертом», наделив ее определенными «интеллектуальными способностями». «Земля» будет определять стратегию работы, а сам робот — тактику ее проведения. Если для орбитального аппарата это означает автономию в решении ряда навигационных задач, то для марсохода — это наивысшее по сложности автономное адаптивное (т. е. приспосабливающееся к условиям) управление движением.

Помимо телевизионной системы марсоход, по-видимому, нужно будет оснастить лазерным дальномерным устройством для прокладки курса и управления движением.

Навигационное обеспечение марсохода должно решать две основные задачи: выход в заданные районы и координатная привязка маршрута.

Последовательность обхода целевых районов намечается определять в зависимости от реальных координат точки посадки. Планируется, что «привязка» точки посадки и трассы марсохода к местности будет выполняться по данным независимых систем счисления пути и астрономических наблюдений (Солнца, звезд), а также с помощью специальной системы, включающей в себя комплекс средств для подъема на высоту от нескольких десятков до сотен метров над поверхностью Марса

телевизионных камер. Эта система позволит осматривать район размерами примерно 100×100 м с разрешением лучше 1 м, что даст возможность осуществить высокоточную привязку местоположения марсохода к фотоплану марсианской поверхности.
Планируется использовать три вида средств подъема: аэростатные (баллоны), аэродинамические (воздушные змеи) или баллистические. Последний вид рассматривается как резервный для использования в случае выхода из строя или невозможности применения первых двух (например, при неблагоприятных метеоусловиях).
Дальность передвижения марсохода должна достигать сотен километров. Скорость будет зависеть от энергетических возможностей, а также от рельефа местности и научной программы на трассе движения. В качестве источника питания могут использоваться либо солнечные батареи, либо изотопные термоэлектрогенераторы.
Программа научных исследований для марсоходов предполагается очень обширной и, в частности, включает в себя вибропросвечивание глубинных слоев планеты с целью выяснения ее внутреннего строения. Марсоход позволит также получить большую серию панорамных снимков по трассе движения. С его помощью можно было бы осуществить и сбор образцов пород с поверхности большой площади и с глубин в несколько метров. Забор образцов грунта из глубинных слоев планеты особенно важен с точки зрения его последующего «биологического» анализа, так как увеличивается вероятность обнаружения каких-либо форм жизни. Впоследствии марсоход с собранными образцами мог бы служить радиомаяком на выбранной им подходящей площадке для будущего посадочного аппарата, оборудованного возвратной ракетой для доставки на Землю марсианского грунта.
Возможный вариант реализации этого этапа исследований — запуск двух автономных аппаратов. Один из них совершит посадку на поверхность Марса, другой станет его спутником. Посадочный аппарат должен иметь на борту взлетную ракету и небольшой марсоход для сбора грунта на достаточном удалении от места посадки. Марсоход оборудуется манипуляторами и грунтозаборным устройством, которое позволит взять образцы с достаточно большой глубины. Взлетная ракета доставляет грунт к орбитальному аппарату и стыкуется с ним, после чего образцы перегружаются в специальный возвращаемый к Земле модуль. При подлете к нашей планете он перехватывается орбитальной станцией.
Было бы целесообразно выполнить на борту станции первичный анализ марсианского грунта. Это позволило бы решить проблему карантина, исключающего попадание на нашу планету внеземных организмов, как бы ни мала была такая вероятность.
Операция стыковки на орбите достаточно хорошо отработана советскими специалистами. Однако, учитывая жесткий лимит массы в межпланетных перелетах, предстоит большая работа по созданию очень легких стыковочных систем и узлов.
В качестве базового комплекса для осуществления марсианской программы предполагается использовать космические аппараты «Спектр». Первым практическим опытом применения этих аппаратов стал проект «Фобос».
Запуски космических аппаратов предполагается осуществлять с помощью хорошо себя зарекомендовавшей высоконадежной ракеты «Протон».
Прорабатывается также вариант программы исследований Марса с использованием в качестве средства выведения полезного груза в космос новой ракеты-носителя «Энергия». В этом случае одной экспедицией могли бы быть решены, в принципе, все основные задачи перспективной «марсианской» программы, а также обеспечено одновременное исследование значительно большего числа районов планеты при помощи марсоходов, аэростатных зондов и малых посадочных станций. Предварительные оценки показывают, в частности, что одним запуском ракеты-носителя «Энергия» могут быть доставлены на Марс сразу три марсохода — один тяжелый с возможностью глубокого бурения и два легких, несколько кассет с десятью метеомаяками каждая и большое число пенетраторов. Удастся значительно снизить и весовые ограничения в решении проблемы доставки грунта с Марса.
Учеными ИКИ рассматриваются и другие проекты планетных исследований. Некоторые из них находятся уже в стадии проработки (проект полета к планетам-гигантам с последующим выходом во внутреннюю часть Солнечной системы для исследования короны Солнца с близких расстояний), другие находятся на уровне идей.
Предполагается, что Юпитер и Сатурн будут исследоваться с помощью спускаемых аппаратов (атмосферных зондов) и искусственных спутников, Титан — с помощью посадочного аппарата и аэростатного зонда. Возможна также комбинация в одной экспедиции двух-трех различных аппаратов.
Основными задачами исследований Юпитера и Сатурна станут прямые измерения температуры, давления и плотности атмосферы, ее химического и

изотопного состава; изучение структуры облачного слоя и характеристик аэрозольных частиц, включая анализ их химического состава; измерение скорости ветра, потоков солнечного и теплового излучения; регистрация электрических явлений в атмосфере; анализ ее нейтронного и ионного состава, электронной и ионной концентрации.
Предусматривается также изучение метеоритного вещества вблизи планет, магнитного поля в магнитосфере, энергетического спектра заряженных частиц, регистрация радиоизлучения планет, изучение морфологических характеристик поверхности спутников планет.
Одной из задач исследований Титана с помощью посадочного аппарата станет получение изображений его поверхности, анализ ее состава и механических свойств.
При помощи аэростатного зонда, дрейфующего в атмосфере Титана, можно измерять ее температуру и давление, скорость и направленность ветра, параметры турбулентности, исследовать характеристики аэрозоля, анализировать химический состав атмосферы.
Телевизионная камера, установленная в гондоле аэростата, позволит получить при высоте полета 5—6 км детальные изображения поверхности.
Предполагается, что и перспективная программа исследований Марса, и все последующие «планетные» проекты будут осуществляться на международной основе с широким участием других стран.

The main task of exploring planetary bodies is the study of their atmospheres, surface and internal structure in order to establish or specify the general regularities of physical and chemical processes which determine the life of any planet, including the Earth.
To solve the problem of the formation of the solar system it is of particular importance to study minor bodies—asteroids, natural satellites of planets and comets.
Finally, the accumulation of data on the nature of planets is a stage necessary before the establishment of operating automatic scientific observatories and manned stations on the Moon and Mars which will help to set up a basis for the future use and colonization of planets.
The exploration of the planets figures prominently in the Institute's activity. Experimental studies are given priority. They are conducted by methods of optical and infrared spectrometry, photometry and infrared radiometry, mass-spectrometry, gas chromatography, and X-ray fluorescent spectrometry. Meteorological measurements are taken on the surface and in the atmospheres of other planets.
Alongside experimental studies considerable attention is given to the elaboration of theoretical problems, mainly in the field of the simulation of processes in planetary atmospheres, including the early stages of their evolution.
The Institute takes an active part in providing space expeditions with intitial data (the elaboration of the engineering models of the solar system bodies), in the preparation of promising scientific programmes of planetary exploration.
The Institute took part in the preparation and implementation of space missions associated with planetary studies. The Institute was responsible for the considerable part of the scientific payload of all these missions. The studies were carried out under a steadily developing programme: new tasks were set, the technique and scientific instruments essentially improved from mission to mission.
The first interplanetary route was blazed by the Soviet Union on February 12, 1981, when the *Venera 1* probe was launched towards the planet Venus by a multi-stage booster rocket. In 1967—for the first time in the world—radio signals from another planet—Venus—were transmitted to the Earth: the famous *Venera 4* probe entered the Venusian atmosphere and carried out there direct measurements of the chemical composition, pressure, density and temperature and measured the electron concentration in the ionosphere. The hydrogen corona of Venus was discovered. All told, *16 Venera* probes and two *Vega* probes with landing Venusian modules were launched towards Venus. While *Veneras 1 to 8* (inclusively) fully entered the planet's atmosphere, the second-generation *Venera* probes were divided into descent modules and orbital compartments. The descent module entered the atmosphere, while the orbital module either became the planet's satellite *(Veneras 9, 10 and 14)* or flew above the planet at a certain distance and was placed into the orbit around the Sun *(Veneras 11, 12 and 13).* The orbital vehicle carried scientific instruments for remote studies of the planet from its emission in different wavelength ranges, as well as equipment for studying the interplanetary plasma, magnetic fields and for conducting astronomical studies. *Veneras 15 and 16* were injected into the orbit of the planet's satellite. A large radar aerial was placed at the site designed for positioning the descent module. This aerial was used to survey the planet's Northern Hemisphere. (The leading organization was the USSR Academy of Sciences' Institute of Radio Electronics).
The descent modules of *Veneras 9 and 10* transmitted—for the first time ever—

panoramas from the surface of another planet. They were obtained in extreme conditions (temperature above 450° C, pressure of about 100 atmosphere). The staff of the Space Research Institute took an active part in the interpretation of these panoramas.

The results of measuring the fluxes of scattered solar radiation in the atmosphere of Venus became the first step in proving that the greenhouse effect is the cause of high temperatures on the planet's surface and in its atmosphere. In this experiment the spectrum of radiation reflected by the surface was obtained. It showed the similarity of Venusian rocks at the landing site with basalts.

From optical measurements with narrow filters the water content in the atmosphere under the clouds was estimated for the first time ever (about 0.01 per cent at an altitude of 40 km).

Two major experiments—the optical-physical and plasma ones—were conducted by the Institute's staff, suing orbiters of *Veneras 9 and 10*. In the first experiment the spectrum of the glow of the upper atmosphere, the longitudinal dependence of the flux of outgoing long-wave infrared radiation and the planet's photometric characteristics in the long-wave ultraviolet range, as well as the clouds' reflection spectrum in the near infrared range were studied. In the second experiment the phenomena of the flow of the solar wind around the planet were investigated.

These studies have to their credit the obtaining of the spectrum of the glow of the Venusian nocturnal upper atmosphere. The attempts to observe this spectrum from the Earth were unsuccessful. The presence of oxygen in the atmosphere of Venus was reliably recorded for the first time ever.

In plasma experiments the structure of the shock wave produced during the flow of the solar wind around the planet and situated behind the front of its turbulent zone was studied in detail.

Measurements of the chemical composition of the atmosphere conducted from the first-generation probes showed that its main components are carbon dioxide and nitrogen (several per cent with respect to $CO_2$). However, to understand many processes taking place in the atmosphere (including energy transfer and formation of clouds) scientists need data on minor constituents whose role in these processes can be decisive. The problems of the origin and evolution of the planetary atmosphere cannot be solved without the knowledge of the isotopic composition either.

Experiments in studying the fine chemical and isotopic composition of the atmosphere of Venus were carried out from *Veneras 11 and 12*. The most important result of these experiments was the measurements of the isotopic composition of inert gases. Isotopes of inert gases can be divided into two groups: radiogenic ones formed due to radioactive decay and relict ones which have survived since the time of the formation of the solar system. The relative and absolute content of relict isotopes enables one to judge the conditions shaped in the protoplanetary nebula and in the course of the process of the formation of planets.

Measurements conducted by Soviet space probes have shown that the number of radiogenic and relict argon isotopes on Venus is roughly equal while on the Earth the number of relict isotopes is roughly 300 times lower than the number of radiogenic isotopes. Like the shortage of water on Venus, this is apparently due to the specific features of the shaping of planets. Some components of the atmosphere were measured simultaneously by different devices. For example, nitrogen and argon were recorded by a mass-spectrometer and by a gas chromatograph. The gas chromatograph provided also data on sulphur dioxide and carbon monoxide (about 0.01% and 0.003%, respectively; these data refer to height of 12-42 km).

Hundreds of the spectra of the daytime sky of Venus in the range of 0.4 to 1.2 μm were obtained by an optical spectrometer at heights ranging from 60 km to the very surface. Their interpretation gave for the first time ever the full vertical profile of the presence of water in the atmosphere of Venus, spectral energy fluxes in it, the vertical stratification of the clouds at landing sites.

Special devices created at the Institute enabled scientists—also for the first time—to detect the low-frequency electromagnetic radiation in the atmosphere of Venus. This radiation is apparently due to lightning discharges.

In their characteristics all scientific instruments were not inferior to similar instruments of the US *Pioneer-Venus* spacecraft and in some parameters considerably surpassed them.

These experiments were conducted from *Veneras 13 and 14* once again by considerably improved instruments, which greatly expanded the list of molecules identified by the mass-spectrometer and made it possible to reliably measure—for the first time—the isotope ratios of neon. The optical experiment was complemented by studies in the ultraviolet range and by measurements of the spectra of radiation coming from various directions.

Solar energy absorbed by the planet in the visible range is reemitted in the infrared range on wavelengths of over 5 μm. The spectrum of this outgoing radiation is complex. It depends on the gas composition of the atmosphere, the composition of the particles of the clouds, their

vertical structure, the temperature of the atmosphere in the emitting region. From the infrared spectra of outgoing radiation it is possible to reconstruct these characteristics in many places of the planet depending on the latitude, longitude and the time of the day. In this connection it is important to obtain such spectra with sufficiently high spatial resolution (about 100 km). This can be done only from an artificial satellite of Venus. The experiment in infrared spectrometry of Venus was prepared by the Space Research Institute in cooperation with institutes of the Academy of Sciences of the German Democratic Republic and was performed from *Venera 15*. The $H_2O$ and $O_2$ content at altitudes of about 60 km on various latitudes was determined, the latitudinal-longitudinal temperature field in the 60-90 km height range was measured, sharply pronounced local-temporal variations in the structure of the upper clouds were detected.

The *Vega* project became a new step in Soviet studies of the solar system. Unlike previous experiments, it was a multi-purpose experiment: one launching envisaged the exploration of Venus (by descent modules and balloons) and Halley's comet (during the probe's flight through its coma). Descent modules obtained for the first time the precision temperature (with an accuracy of about 1 K) vertical profile of the Venusian atmposphere in the entire height range—from about 50 km to the surface. Both experiments were conducted jointly with French scientists. Direct measurements of the sulphuric acid content in the cloud layer were made for the first time. This is the main component of aerosol particles, at least in the upper clouds. However, elemental analysis carried out by the X-ray fluorescence method has shown that in the lower clouds there are only chlorine and phosphorus. Using the optical analyzer of particle sizes it was established that in their distribution the mode 1 (the power-law spectrum with the exponent of about 4) is predominant and that the index of refraction is close to 1.5. The vertical structure of the clouds at the landing sites of descent modules greatly differs from that obtained in previous experiments.

The flight of two balloons in the Venusian atmosphere which lasted about 48 hours at an altitude of 54 km was an outstanding achievement. They were the first balloons in the atmosphere of another planet. The research programme included measurements of the pressure, temperature, wind velocity, turbulence parameters, volume coefficient of cloud scattering, and illumination. The programme was prepared and implemented in cooperation with French and American scientists. The network of radio telescopes located throughout the globe and incorporated into the international system of very longbase interferometer determined the position and speed of the balloons. The average velocities of the zonal wind at the height of the drift (about 67 m/s) and of the meridional wind (about 4 m/s) were measured, strong turbulent motions (amplitude of up to 2 m/s) and orographic effects in atmospheric motions were detected. The profile of the change in the solar flux during the transfer from the night side to the day side was obtained. The night glow of the troposphere was detected simultaneously from descent modules and from balloons. The glow is apparently caused by the thermal emission of the surface on wavelengths of about 1 μm. Soviet scientists' successes in the exploration of the planet Mars look much more modest as compared with the results obtained under the Venus research programme.

In 1971 *Mars 2* and *Mars 3* were launched to Mars. A capsule dropped from *Mars 2* reached the planet's surface. A descent module separated from *Mars 3* made a soft landing. These landing modules did not give any scientific information. The probes themselves became artificial Martian moons. Using them, eleven scientific experiments were made, seven of which were linked with the study of the planet: remote measurements of the temperature of its soil, studies of the relief of the surface, of the composition and structure of the atmosphere. Measurements of the temperature of the surface by an IR-radiometer have shown that during a dust storm it is lower than in the event of the normal transparency of the atmosphere. From the data of this experiment the thermal inertia of soil was determined on the basis of which the size of the grains of soil (0.05-0.5 mm) was assessed. The photometer tuned on the water absorption band gave the profile of its content along the subsatellite zone.

In 1974 four other probes—*Marses 4, 5, 6 and 7*—were launched to Mars. The aim of the experiment was to carry out comprehensive studies of the planet simultaneously from the orbit of its artificial satellite and directly on the surface.

On the descent module of *Mars 6* direct measurements of the temperature and pressure of the Martian atmosphere were carried out for the first time in astronautics.

Using the *Mars 5* artificial satellite, the Institute conducted two experiments aimed at studying the chemical composition of the atmosphere. One of them—measurements of the water vapour content in the atmosphere—has shown that in some areas of Mars it can reach 100 μm of settled water. This is much more than it was observed from the Mars probe in a similar

season two years earlier.
Besides, it was found out that in regions separated from each other just by several kilometres the water content can differ three-four-fold.
The *Mars 5* experiment has shown the presence of a small amount of ozone at low latitudes. This result was important for understanding photochemical processes in the planet's atmosphere.
The density and size of the hydrogen corona of Mars—the outermost part of its atmosphere—were determined by a photometer on the Lymanalpha line.
IR-radiometry of the surface and photometry were carried out in the near IR-range, including $CO_2$ bands, and in the visible range as well. Measurements were made by the polarimetry method too.
Photometric and polarimetric measurements showed that regolith grains have a finer microstructure—about a micron.
The measurements of the planet's radio emission at the wave of 3.4 cm by a radio telescope made it possible to obtain data on the temperature and dielectric constant of Martian soil to depths of several tens of centimeters.
Since the mid-1980s, along with the continuation of planetary studies, scientists turned to quite a new class of the objects of the solar system—minor bodies: comets and asteroids.
Minor bodies, precisely due to their small mass and large distance from the Sun, did not alter considerably during their existence. Hence, their studies can yield unique information on the processes which occurred during the period of the origination of the solar system.
The studies of minor bodies have already made a great contribution to planetary cosmogony. Mention should be made here of the studies into meteorites—unique samples of space matter which are sent to the Earth by nature itself.
Meteorites are debries of larger bodies, mainly asteroids and are formed due to their destruction during mutual collisions. There is also a class of very small meteorites (Browpley's particles) which are, apparently, of cometary origin. So far connections between different types of minor bodies are not clear, and some of their major characteristics remain unknown.
Comets are especially enigmatic. At the same time, they are of the greatest interest for researchers because they have the gaseous and dust components. This makes it possible to obtain unique information, including data on the elemental and even isotopic composition without the landing on the main body. Such landing is a very difficult technical task, although such projects are also being worked out.
Cometary studies are also very important for the diagnostics of physical conditions in interplanetary space. The use of these heavenly bodies as natural probes is now the only chance to explore those sections of outer space which so far are almost inaccessible to man-made space probes.
The implementation of the Venus—Halley's comet project was the first major step in realizing the programme of studying minor bodies of the solar system by space technology. Two identical spacecraft—*Vega 1* and *Vega 2*—took part in this experiment. The second-generation *Venera* space probes were used as basic structures.
The *Vega* project was characterized by the broad participation of foreign partners at the level of space agencies, institutes and individual researchers. For the collective solution of the problems originating in the course of the joint work on the project the International Scientific and Technical Council chaired by Academician Sagdeyev was set up.
The flight programme of *Vega* space probes was as follows. The spacecraft were launched on December 15 and December 21, 1984. In June 1985 they reached the vicinity of the planet Venus. Two days before the flight close to the planet descent modules were separated from *Vegas*. The descent modules continued the motion along the appropriate trajectory and entered the atmosphere of Venus.
By the pulse imparted by the vernier engine the flyby vehicles were transferred into the trajectory ensuring the flyby and the opportunity to relay information coming from descent modules. Then, as a result of the gravitational manoeuvre in the field of the gravitation of Venus flyby vehicles were transferred to the trajectory of the encounter with Halley's comet, which took place in March 1986.
The Venusian part of the project was already described. Let us describe now the studies of Halley's comet. What were the scientific objectives of the flight of *Vegas* to Halley's comet? In the first place, it was intended to elucidate the nature of the comet's nucleus and atmosphere. Two approaches were used: first, remote measurements by optical devices, and, second, direct measurements of matter (gas and dust) which leaves the nucleus and crosses the trajectory of the vehicle's motion. In addition, a complex picture of processes which is observed during the encounter of the ionized component of cometary gas with the solar wind flow was studied.
Optical devices were installed on a special platform which turned during the flight past the nucleus, automatically tracing the direction towards it. This platform was worked out jointly by Czechoslovak and Soviet specialists and was manufactured in Czechoslovakia. One of the main elements of the

optical complex was a television system which consisted of a long-focus and a short-focus cameras. It was possible to discern parts about 100 m in size at a distance of 10,000 km by the long-focus camera. Having a worse resolution, the short-focus camera possessed a wider field of vision. Therefore, it found the comet's nucleus (its brightest part) quicker, and, sending signals to the turning platform, kept it in the field of vision of the long-focus camera. The television system included a microprocessor which operated the cameras: carried out the preliminary processing of images, chose channels and filters, and determined the exposure. The television system was created by Soviet, Hungarian and French scientists. In addition to the television system the optical complex included devices which ensured the detailed spectroscopic studies of the chemical composition of various regions of the atmosphere (coma) and the comet's tail. Mention should be made here of a three-channel spectrometer designed and manufactured by research institutions of Bulgaria, the USSR and France and an infrared spectrometer created in France. The infrared spectrometer was tested by French and Soviet specialists. The data were interpreted jointly too.

One of the major aims of these studies is the search for primary molecules known also as parent molecules. Daughter or secondary molecules are easily determined by ground-based spectroscopic measurements. But parent molecules were never observed. When cometary ice turns from the solid state directly into the gaseous state, the gas escapes the comet's surface at a speed almost equal to the velocity of sound. In the region of the nucleus its density is very great. Therefore, molecules intensively interact with each other, and essential chemical variations take place in them. In the course of these processes daughter molecules are formed.

The optical studies of the gaseous composition of the comet's atmosphere were complemented by its measurements by a mass-spectrometer of neutral gas designed in the Federal Republic of Germany with the participation of Hungarian and Soviet specialists.

As mentioned above, the cometary atmosphere consists not only of gaseous particles, but also of dust particles. With the relative velocity of the spacecraft's approach to the comet equal to about 80 km/s this dust poses a great threat. That's why special multi-layer shields were created to protect the spacecraft against collisions with dust particles. However, it was precisely the high relative speed of particles which was used for determining their composition. If a target is placed on the way of such a particle, the latter with the impact against it evaporates explosively and turns into a plasma cloud. The mass-spectrometer will determine the composition of the particle, and, hence, the composition of the comet's nucleus from which this particle was taken. Such is the idea of the PUMA experiment. The device for such purposes was created jointly by specialists of the Soviet Union, the Federal Republic of Germany and France.

Some other devices developed by Soviet specialists were designed for measuring the physical characteristics of the dust flow—the number of particles of different masses, their sizes and density. Various effects were used for these measurements, including the piezoelectric effect, the ionization and light flares during the impact, the change in the light flux from the Sun when the film is pierced.

The photoionization of gas leaving the nucleus leads to the formation of a plasma envelope (ionosphere) around it. This envelope consists of ionized molecules. Along with neutral gas, ions move at a speed of about 1 km/s. However, this motion is subjected to other laws. No forces, except for gravitation and light pressure, influence neutral gas. The solar wind exerts pressure on cometary ions. With the encounter of the solar wind with the ionosphere a shock wave must be formed, the magnetic field must be intensified, wave processes must originate, being accompanied by electromagnetic oscillations. The acceleration of cometary ions in the magnetic field of the solar wind may reach high energies.

To study these processes *Vegas 1 and 2* carried well thoughtout sets of devices. One of such devices—the MISHA magnetometer—was designed by Austrian scientists. The PLASMAG spectrometer of cometary plasma worked out by specialists from Hungary, the Soviet Union and West Germany was meant for studying the concentration, composition and energy of ions of both the solar wind and the cometary plasma. The TÜNDE-M spectrometer of energetic particles designed by scientists from Hungary, the USSR and West Germany was meant for detecting high-energy ions accelerated by the magnetic field of the solar wind.

Two devices were used for recording low-frequency (Poland, the USSR and Czechoslovakia) and high-frequency (the USSR, and France) plasma waves. Analysis of the results of measurements conducted by devices of the plasma set was to greatly specify the concepts of phenomena observed in the course of the interaction of the solar wind and the comet.

The processing of pictures of Halley's comet taken from *Vegas 1 and 2* made it possible to conclude that the comet's nucleus is an irregularly shaped

elongated monolithic body. Its maximum size is estimated as 14 km along the major axis and about 7 km across. The shape of the nucleus looks different for different scientists: like a ground nut, like a banana, or like a boot which is down at the heels. The nucleus possesses very low reflectivity.

Until recently there were three most probable hypotheses about the physical structure of the comet's nucleus.

In the first place, this is a model describing the nucleus as a single solid body consisting of a conglomerate of frozen gases and stony meteoric matter.

According to another hypothesis the nucleus is a dense swarm of various particles.

The third hypothesis assumes that the nucleus consists of numerous small gravitationally interconnected particles.

The hypothesis according to which the comet is a "flying iceberg" was adopted when the engineering model of the comet for the *Vega* project was worked out. This hypothesis proved to be correct. A double or a more complex multiple structure (several individual bodies) is almost excluded.

Volatiles and ice determining the specific features of the comet's behaviour are mixed up in the nucleus with refractory material which is predominant in the surface layer. The thickness of the refractory layer varies from one centimetre to several centimetres.

The comparison of pictures taken from *Vega 1* and *Vega 2* with simultaneous photography from different sides determined the period of the nucleus's rotation—a revolution during 50-55 hours. The inclination of the equator to the orbital plane is less than 15°.

Measurements carried out by a radiometric channel of an infrared radiation spectrometer have shown that the surface of the nucleus is hot—approximately 100° C. This is much more than it was predicted for the ice model. In scientists' opinion such high infrared temperature is due to the insulating layer of surface porous black refractory substance. This layer receives solar radiation, re-emits a portion of it in the infrared range, imparting another part to the ice conglomerate. Molecules of water vapour formed due to evaporation diffuse through pores upward and leave the comet. Water vapour molecules take smaller dust particles with them. From time to time the surface layer in individual places is broken, and an active region with powerful releases of material is formed.

Perhaps a snow-drift in an urban street is similar (of course, in a much reduced form) to the cometary nucleus. The dirt layer covering it can be heated on sunny days to high temperatures and, at the same time, it preserves the snow-drift from thawing for a long time.

The refractory surface layer of the comet's nucleus is renewed very quickly (approximately during 24 hours). Its upper particles are torn off and are carried away by gas, and new particles adhere to it from below. The layer gradually becomes thicker and tens of thousands or hundreds of thousands of years the comet can lose its activity and become an asteroid.

On the whole, according to data obtained by *Vegas* each second about 40 tonnes of water evaporated from the surface of the nucleus. Measurements by the infrared spectrometer have shown that carbon dioxide is the second (in quantity) component. From spectra obtained by this instrument it was also established that the gas flow leaving the nucleus contains a considerable number of complex organic molecules. Organic material is also present in dust particles whose composition was analyzed by the PUMA device. It follows from the results of these two experiments that there is much organic matter in the nucleus of Halley's comet (and apparently in nuclei of other comets). This is a new fact in the physics of comets.

The average density of the nucleus of Halley's comet was assessed. The volume of the nucleus was determined as a result of the processing of television pictures. It is roughly $5 \cdot 10^{11}$ m$^3$. The mass of the nucleus was determined from the reactive effect produced by the release of gas and dust towards the Sun. Calculations were made independently by Soviet and foreign scientists. The results were close—the mass of the nucleus was estimated at about 30,000 million tonnes. Thus, the average density of the nucleus is 0.5 g·cm$^{-3}$.

Knowing the mass and the speed of its loss (40 t/s), it is possible to determine the comet's typical lifetime—on the order of 50,000 years. Actually it can be greater since the comet's activity apparently decreases from one revolution to another.

The spectrum of solar radiation scattered by cometary dust was analyzed jointly with data of dust counters. The best coincidence of optical and direct measurements takes place if one assumes for particles a density considerably (by several times) smaller than unity. This means that cometary dust particles are porous in structure. Similar particles are found on the Earth's surface, and hypotheses were put forward that these are samples of cometary dust.

Experiments with dust counters have shown that each second about a million tonnes of dust leaves the cometary nucleus. In addition, there are effects linked with the different influence of light pressure on the motion of particles of different masses and sizes. The character of the size distribution of particles proved to be unexpected: an anomalously great number of particles small in size (about a hundredth of a micrometre) was detected.

Measurements carried out by the plasma-complex instruments of *Vegas 1 and 2* have shown that in the final analysis gas evaporating from the comet's nucleus and propagating into the interplanetary environment at a speed of about a kilometre per second is fully ionized by solar radiation. As a result, a giant plasma formation about a million kilometres in size originates. It puts up an obstacle in the way of the supersonic flow of the solar wind. Even the Earth's magnetosphere is 10—15 times smaller. A specific shock wave is formed in front of the comet in the supersonic flow of solar plasma. This wave does not resemble in its structure the well studied shock waves in front of the earth and other planets.
Direct measurements of plasma and plasma waves in the internal part of the coma conducted, for the first time ever, from *Vega* spacecraft will help scientists to understand better the specific features of the formation of plasma and gas emission not only in comets, but also in some other astrophysical objects in which the interaction of plasma plays a prominent role.
So, as a result of the expedition of space probes to Halley's comet it was possible to obtain a large amount of data on the composition of its nucleus, physical characteristics and the interaction with the solar wind, to get a real picture of the natural object which earlier was not observed in such detail.
New data on Halley's comet produced new ideas on the role of comets in the solar system. It is supposed that comets observed by scientists come from the galactic reservoir of cometary nuclei ($10^{11}$ to $10^{12}$) of the Oort cloud situated on the outskirts of the solar system.
As follows from calculations by many scientists, the halo, or the Oort cloud proper apparently cannot remain in its place during the whole period of the existence of the solar system (4,500 million years) because the effect of the gravitational field of the giant complexes of molecular hydrogen in the galaxy is stronger than the attraction of the halo towards the Sun. However, the halo is observed from comets coming from it and, hence, is continuously complemented from the constant reservoir—the internal cometary cloud in which the number of cometary nuclei is still greater—up to $10^{14}$.
L.S.Marochnik and L.M.Mukhin, Doctors of Sciences (Physics and Mathematics), on the institute's staff pointed out that if these estimates are correct and if it is assumed that the typical mass of the nucleus in the internal reservoir is the same as that of Halley's comet, the total mass of the comets in the solar system exceeds the mass of the planets.
If this is so, the concept of the distribution of the angular momentum in the solar system must be radically altered. Up to now it was believed that the Sun concentrates 99.9% of the mass of entire material of the solar system and that the planets concentrate 98% of its angular momentum. Now we must recognize that the Sun conrecognizes somewhat more than 97% of the mass and that practically the entire angular momentum is concentrated in the Oort cloud. The full angular momentum is concentrated in the Oort cloud. The full angular momentum of the solar system must be 10 or even 100 times larger than it was considered earlier.
The comprehensive multi-purpose *Phobos* project was the next stage in the solar system exploration programme. The project included: studies of the Martian moon Phobos by remote methods during the flight close to it and by direct measurements from small landing probes; solar studies; and plasma investigations. Like the *Vega* project, the *Phobos* project was international. Sophisticated planetary, plasma and solar complexes of scientific instrumentation were designed through the joint efforts of scientists from 14 countries and the European Space Agency.
The planetary complex envisaged, in particular, active methods of studies: the remote laser mass-spectroscopic analysis of the composition of soil and the remote mass-analysis of secondary ions, as well as radar probing of Phobos.
Passive methods of studies included the photography and the mapping of the surface, radiometric (thermal) and spectral measurements, investigations of the gamma radiation of the surface of Phobos and Mars, of neutron radiation of the surface of Phobos, spectrometry of the chemical composition of the Martian atmosphere.
The project also envisaged contact methods of studies by the long-living self-contained station (DAS) and the landing mobile probe (PROP).
Of course, the Martian moon Phobos was one of the main goals of the mission.
Regrettably, the programme of the *Phobos* project was not fully implemented. In astronautics setbacks are possible like in any other difficult and new undertaking. Long ago, Konstantin Tsiolkovsky wrote about space flights: «Great disappointments are here in store because the favourable solution of problems is much more difficult in this field than it is believed by many brilliant scientists."
The *Phobos1* and *Phobos2* spacercraft were launched on July 7 and July 12, 1988, respectively. Early in September communications with *Phobos 1* were lost. This happened due to the error in the command sent to the spacecraft. As a result, the attitude control system and solar cells turned away from the Sun. On-board systems began receiving ever less energy, and the spacecraft proved to be unable to execute any

commands and to react even to powerful signals from the Earth. After the loss of *Phobos1* additional measures were taken to raise the reliability of the operation of *Phobos2*. Specifically, instead of planned two corrections of the trajectory in the section of the approach to Mars only one correction was made. This put the future orbit higher which worsened the conditions of the operation of scientific instruments designed for exploring Mars and near-Martian space, but increased the reliability of control of the spacecraft.

Two hundred days after the launch, on January 29, 1989, *Phobos 2* entered a greatly elongated elliptic orbit above the Martian equator. The extreme orbital points lay 819 km and 81,214 km away from the planet. The spacecraft made 4.5 revolutions in this orbit. Studies of Mars were carried out when the spacecraft was flying at sufficiently low altitudes. Then, due to new switchings on of the vernier engine installation, the flight trajectory was successively transformed into elliptic with the minimum distance of 6,400 km from the surface of Mars (in the pericentre) and later into circular situated higher than the orbit of Phobos by 350 km—the so-called observation orbit.

From the observation orbit studies of Mars, its atmosphere and space around it continued for three days. Then, when the spacecraft was 860 to 1,130 km away from Phobos, the first television survey session was conducted. Nine television pictures of Phobos were taken. Video information transmitted to the Earth was used to specify the parameters of the motion of Phobos and the spacecraft for arranging their subsequent rendezvous. When the distance between Phobos and the spacecraft decreased to 320-440 km, another television survey session was conducted. The pictures of the Martian moon thus taken were used for ballistic purposes and for studying the relief and its features.

Upon specifying the orbital parameters of Phobos, on March 21 the spacecraft went to an orbit quasi-synchronous with the motion of the Martian moon, moving away from it to a distance of about 400 km or approaching it to a distance of 200 km. Another television survey of Phobos was made with a sufficiently high resolution.

At the same time, preparations were made for putting (early in April) the spacecraft into inertial space situated on the side external with respect to Mars and lying 35 km away from its surface. Then, using information of its own on-board radio facilities and television system, the spacecraft was to start quite a new element of a space mission— the accompanying of a celestial body and complex manoeuvring above its surface. It was planned that hovering at a height of about 50 m above the surface of the Martian satellite, *Phobos 2* would move for a rather long time together with the Martian moon, carrying out a television survey and numerous experiments, including comprehensive studies of the surface of Phobos through a multiple impact on it by laser and ion-beam radiation.

At the end of the section of the hedge-hopping flight two landing modules—the longliving station and the mobile station—were to be sent to the surface of Phobos. However, on March 27 after turns aimed at conducting television survey of Phobos and the subsequent transmission of data obtained to the Earth, reliable communication with the spacecraft was not established. Thus, the experimentation programme under the *Phobos* project was not fully implemented. At the same time, extensive studies were performed on the Earth—Mars route and during the spacecraft's motion in near-Mars orbits before the loss of communications with it.

Interesting results were obtained, for instance, in studying cosmic gamma-ray outbursts and hard radiation of solar flares in the Soviet-French APEX experiment in the course of which the time resolution obtained was the highest for modern gamma-ray astronomy. More than 50 intensive gamma-ray outbursts were recorded. Their new properties were discovered: the fine time structure of profiles with the time scale of about several milliseconds, the multicomponent character and rapid variability of spectra. Numerous spectral features of outbursts were recorded too. For one of the most powerful events the variability of the gamma-ray flux with characteristic time less than 1 ms was measured, radiation with energies of several tens of megaelectron-volts was recorded, and spectral lines with energies of 1 MeV were detected.

For some most powerful solar flares intensive nuclear radiation was discovered.

The performance of measurements of the components of the near-Mars plasma is a considerable achievement.

The studies were performed with the instrumentation package which included the instruments for investigating the magnetic field, the electric and magnetic wave radiations and other phenomena which determine physics of plasma processes. In particular, the measurement of plasma waves is always considered as one of the diagnostic methods for studying the plasma. It is the analysis of plasma oscillations together with measurements of the magnetic field and plasma characteristics that makes it possible to identify reliably the processes in the solar wind flowing around the planet and in magnetospheres of planets. Moreover, the study of plasma waves allows, in some cases, revealing new phenomena

which cannot be discovered with other methods of measurements. For the first time the Martian magnetosphere and its interaction with the solar wind were studied in 1971-1974 by the Martian artificial satellites *Mars2, Mars3,* and *Mars5.* The shock wave, the magnetospheric tail were detected, the shape and size of the magnetosphere were determined, the indication that there is the weak intrinsic magnetic field was obtained, the hot plasma of planetary origin was detected as in the magnetosphere itself as in the flow around the planet. The analysis of these data laid foundation for present-day concepts on external envelopes of Mars and on processes occurring in the near-planetary environment. However, these concepts were somewhat limited since orbits of these spacecraft did not properly correspond to the objectives of the planet's magnetosphere study and the capability of their scientific payloads was insufficient for providing required information capacity and necessary measurements.

At the same time the Martian atmosphere is of particular interest for specialist. Indeed, since the intrinsic magnetic field of Mars is weak, the plasma flow from the solar hot corona (the solar wind) should reach the upper layers of the planetary atmosphere before it can be stopped by the magnetic field. As a result, the Martian magnetosphere is formed in the conditions of the solar wind interaction with the magnetic field of the planet and with its atmosphere. Thus, it should differ essentially from giant magnetospheres of planets with the strong magnetic field, as in the case of the Earth, and also from the induced magnetosphere of Venus forming during the solar wind interaction directly with the ionosphere of the planet. Because the previous missions to Mars did not carry the instruments to measure plasma parameters in the wide angular and energy ranges there were not obtained the data on the ion composition and characteristics of ions of various sorts in the near-Martian environment. However, these parameters are most significant for understanding the complicated character of the solar wind interaction with the planet.

The high manoeuvrability of *Phobos 2,* the capability to change repeatedly its orbit made it possible to study the atmosphere of the planet and also with its extended magnetic tail which forms during the solar wind interaction with Mars.

It proved that in the magnetosphere of Mars as in that of the Earth its structures like the magnetopause (the magnetosphere's boundary), the plasmasheet in the magnetospheric tail and the shock wave standing before it in the solar wind flow manifest themselves well. The mission succeeded in revealing also finer details of the Martian magnetosphere's structure. Inside the magnetosphere filled up with the comparably cold plasma of planetary origin there are many islets of the hotter solar plasma. This indicates that the weak magnetic field of Mars is closely interwoven with the interplanetary magnetic field thus forming a natural «magnetic» canal for the solar plasma penetrating to the magnetosphere. Such an interrelation between these fields impedes the separation of the contributions from the interplanetary and planetary magnetic fields, and, thus, it is impossible to identify distinctly parameters of the Martian intrinsic magnetic field.

Magnetic field lines connected with the planet and its atmosphere generate in the solar wind flow penetrating to the atmosphere a canal for loss of ions formed from atmospheric atoms and molecules. The *Phobos 2* energy mass-analyzer measured separately the flows of the solar plasma (mainly, hydrogen ions) and the planetary plasma (mainly, ions of carbon dioxide, $CO_2$, molecular and atomic oxygen). This made it possible to determine the flux of planetary ions going away to the interplanetary sphere. The flux is approximately (2 to 5) $10^{25}$ ions per second. Hence, the Martian atmosphere losses one-two kilograms of the matter every second. It may seem to be not many, however, having regard to the highly rarefied atmosphere of Mars (the pressure on the planet surface 170 times lower than that on the Earth) such losses can affect essentially its evolution. Indeed, the obtained estimate of the ionospheric ion flux leaving the Martian atmosphere is practically equal to the losses of the Earth magnetosphere through its magnetic tail. However, for the Earth this loss is negligible even in cosmogonic scale of time. With such a loss rate atmospheric oxygen near the Earth could disappear for 10 billions of years. For Mars which has the mass approximately ten times smaller than that of the Earth the loss rate of 2 kg/s indicates that the 1-2m layer of water could disappear from the planet surface for 4.5 billions of years, i.e., during all the history of Mars.

This suggests that whenever Mars did not have a sufficiently strong magnetic field in the past, the solar wind interaction with the much more dense atmosphere at early evolution stages of the planet could bring about considerable erosion of its atmosphere. It is not impossible that the absence of the sufficiently strong magnetic field near Mars and Venus is mainly responsible for the loss of water (source of volatiles) the planets have after accretion from the protoplanetary matter.

One more unexpected result of the *Phobos 2* on-board measurements is detecting quasicaptured radiation and

accelerated ion beams similar to the beams of accelerated electrons and ions above the Earth's aurorae. It is true that the "real" radiation belts are obviously absent on Mars since energy particles do not live for a long time in the magnetosphere of this planet. No aurorae were also detected on Mars.

Among the most interesting results of investigations of Mars itself are radiation radiometry (thermal) and spectrometry of its surface. The measurements were conducted with the instrumentation package which involved a scanning radiometer "Termoscan", a combined radiometer-spectrophotometer KPFM and a mapping infrared spectrometer ISM.

"Termoscan" made "thermal" survey of the Martian atmosphere and concurrently received shortwave radiation reflected by the surface.

KRFM recorded Martian radiation in sixteen spectrum bands six of which corresponded to the thermal range, ten—to the short-wave range, that allowed photometry in the near ultra-violet and visible spectral ranges.

Particularly, the KRFM measurements in the $CO_2$ absorption band made it possible to estimate the Martian stratosphere temperature.

Besides, the KRFM data on the peculiarities of brightness distribution in the short-wave range helped determine the optical characteristics of aerosol particles in the atmosphere.

The spectrometer ISM operated in 128 spectrum bands in the most optimal range to analyze the mineralogical soil composition.

The measurements cover a major portion of the planet equatorial zone. The analysis of data showed that spectral reflection characteristics of the surface vary essentially; and this is new in our knowledge about Mars. The data on the hydration level of minerals point to the presence of sedimentary rocks on Mars.

The *Probos 2* spacecraft carried also a very interesting experiment to study the vertical structure of the planet atmosphere. The studies were conducted with an original method, which has never been employed aboard the planetary spacecraft. The essence of this method is to measure a spectrum of solar radiation which had passed through the Martian atmosphere, when the Sun is observed near the planet edge—either it sets or rises, i.e., under solar eclipse conditions. Here the solar rays move tangentially and in their way there occurs the maximum possible amount of atmospheric matter-gas and dust. The solar spectra obtained in these conditions at different time moments, correspond to different heights above the planet surface, and the analysis can yield vertical distribution over height of various atmospheric components. Measurements were conducted in the $CO_2$, ozone, water vapor spectral bands.

The analysis of data revealed that the water vapor content in the Martian atmosphere at heights 20-60 km averages 0.0001 relative to the main component—$CO_2$. The ozone content considerably varies with height. Note, that vertical variations of the atmospheric gas relative content on Mars were estimated for the first time.

All envisaged planetary experiments were successfully fulfilled, though it was expected that the data amount would be much more, in terms of surface coverage and experiment duration. Significantly, for the first time new methods of investigations were tested, which will be essential in future exploration of Mars.

One of most important results of Phobos Project implementation was a sequence of images of the Martian artificial satellite—Phobos.

Survey of far space objects and image transmission to the Earth via radio-link is an enormously complex scientific and technological task. The TV experiment was conducted with the instrumentation which included three TV cameras, a spectrometer, a control system and a video recording system. The official name of the whole survey system is the Fregat videospectrometric complex. This instrumentation was intended for two extremely different objectives of the Project. The first objective was to collect the navigational data to specify mutual position of the interplanetary station and the Martian satellite. The second objective—to acquire information about the configuration, structure, microstructure of Phobos, and about the composition of its surface.

The accuracy of prediction of a Martian satellite position has about ten times increased as a result of an on-line navigation processing of Phobos images. This allowed correction of the interplanetary station orbit at the distance up to 200 km from Phobos.

The navigational measurements taken are of a considerable scientific interest. In particular, they make it possible to refine characteristics of tidal interaction between Mars and Phobos, the librational movement of Phobos, its mass and density. Besides, they give certain information for its inner structure analysis.

There were made about 40 images of Phobos from a distance of 200 up to 1100 km in the process of experiment, which cover more than 80% of its surface. The resolution of photographs, taken from the minimal distances, is 40 m. The comparison of images obtained from *Phobos 2* with the *Mariner 9* and *Viking* images shows that they supplement each other well in both—the surface coverage by the Martian satellite and in spectral bands

and observation conditions. Thus, *Phobos 2* has taken photos in the greatest detail of the region westward the Stickney crater that was mapped worst in the previous missions. New images will allow refinement of the shape and map of Phobos. The images of Phobos were obtained for the first time in the near IR radiation band.

All the TV images, taken at different observation and illumination angles, allow the analysis of the angular dependence of the brightness of the Phobos surface and microstructure parameters, for example, sizes typical of regolith particles. These data are absolutely necessary for studying the processes, that take place during meteorite bombardment of the surface of Phobos, as well as the evaluation of mechanical and thermophysical properties of its substance. In the opinion of specialists, the unique spectrometric experiment, carried out in one of the sessions, is of great interest. During the experiment, along with the TV imaging in three spectral zones the ISM and KRFM instruments measured detailed spectra of Phobos in ultra-violet, visible and infra-red bands, that cover the wavelength area from 0.32 to 3.2 μm.

Until now we knew very little of reflection spectrum. We studied it only from the Earth, thus, we could get data only on the mean reflectance spectrum of the Martian satellite. Observations with the ISM and KRFM instruments gave, for the first time, the data on the spectrum variability from place to place. Mean reflectance of Phobos is very low. It is about 4 percent, and it practically does not depend on a wavelength. These data allow us to assume that the surface soil of Phobos is, at an average, close to carbonaceous chondrites—one of the types of meteorites. Quicklook analysis of the ISM results made it possible to make a conclusion of a noticeable inhomogeneity of the surface composition, and also of a lower than expected water content in minerals, and composing the Phobos rock. The daytime temperature of Phobos is estimated to be about 300 K (27° C).

Unfortunately, Phobos was observed with ISM and KRFM instruments only once, therefore there are little data for reliable interpretation.

Interpretation of the spacecraft data considerably improved our knowledge about Mars, but many questions about its origin either have not been asked or have not been answered, or require deeper understanding. Along with this, over the recent years new ideas have emerged about the means to investigate this planet. Thus, the dynamics of the atmosphere could be studied using balloons measurements, mineralogical mapping of the planet's surface, and its thermal IR survey; the analysis of the vertical profile of the atmosphere from solar radiation spectrometry in the conditions of the Sun's eclipse by Mars.

The experience of space planetary experiments accumulated over the recent years showed that most efficient scientifically could be a consistent program of several flights to the same object with an interval of several years, each expedition creating a base for the next one, for new, more sophisticated missions. This was the case with the Moon and Venus. Today there is a similar program developed for Mars. The first stage of this program is scheduled for 1994. It is envisaged that global studies of the surface and atmosphere will be conducted with artificial Martian satellites, with balloons placed in the atmosphere, meteorological stations and penetraters delivered to the Martian surface.

For 1996 it is planned to continue Mars'investigations and to deliver Phobos soil samples to the Earth.

In 1998 a Martian rover, first in the history, with a drilling system aboard will start operating.

In 2001 samples of Martian soil are planned to be delivered to Earth.

In 2003—2005 instrumentation for a Martian manned expedition will be tested.

The Space Research Institute, USSR Academy of Sciences, will be the leading organization in the MARS-94 Project.

The MARS-94 project envisages the launch of two identical spacecraft to Mars in October 1994. In eleven months the two spâcecraft will come close to the planet and become its satellites. Each spacecraft will jettison a descender toward the surface of Mars (with a balloon, two small meteorological stations, two penetrators).

The orbit of such spacecraft is elliptic, its perigee height is 300 km, its apogee height is 18 000 km, its inclination is 50 to 70°, active lifetime is about 12 months, the total mass of the scientific equipment is about 250 kg.

The scientific goals are:

photographing of Mars'regions most interesting from the viewpoint of its geological history, evolution of climate, selection of landing sites for future projects (two TV cameras aboard the turning platform);

remote sensing of the soil composition (two IR, gamma-, and neutron spectrometers), of the permafrost depth, the surface temperature (IR-radiometers);

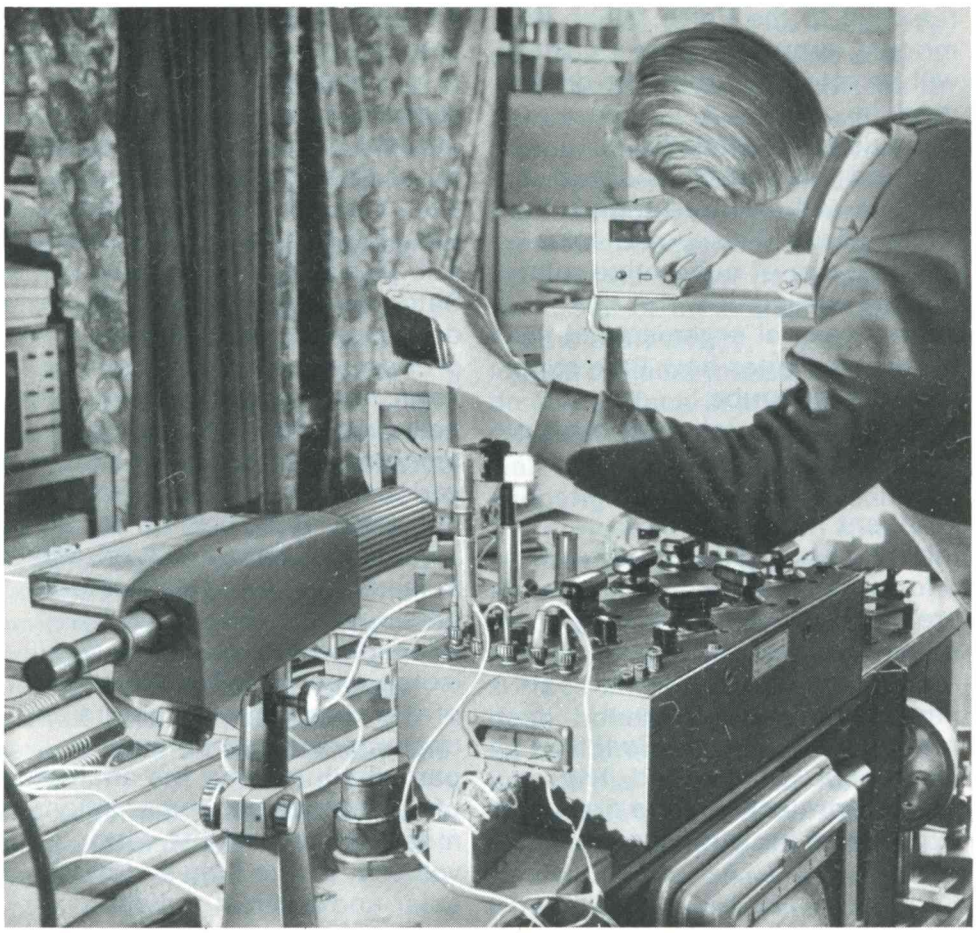
remote measurements of local, temporal, and altitudinal variations of the composition, temperature and pressure of the atmosphere (IR spectrometry, solar-eclipse spectrometry, radio occultation analysis);

contact measurements of the density and composition of the top atmosphere (from the decelerations of descending landers, as well as by mass-

spectrometers);
measurements of magnetic fields and near-planetary plasma (magnetic and plasma measuring instrumentation).
By the time the Soviet spacecraft approach Mars another spacecraft, the US MARS-OBSERVER spacecraft to be launched in 1992, will already be orbiting Mars. The scientific instrumentation and the program of these two space projects will be mainly complementary. The main difference of the Soviet mission is that it includes landing units of the new types. Data exchange and timely coordination of activities are envisaged for the period the MARS-94 and MARS-OBSERVER spacecraft will be simultaneously operating in orbit. Besides, agreement has been achieved about installing a Soviet transceiver aboard MARS-OBSERVER to relay part of the TM data from balloons, small-stations and, possibly, from penetrators. This will considerably increase the body of information which the MARS-94 Project plants to receive.
A balloon station is carried in the descender which enters the Martian atmosphere from the elliptic 12-hour orbit. The position of the orbit pericenter determines the balloon's entry point (this point may be only several degrees from the pericenter in latitude). Because of the time evolution, the orbit pericenter latitude of the balloon will be 40 to 45° at the moment of entry. After the envelope is deployed and filled with gas, after the ballast and the inflation systems are jettisoned, the balloon station has an envelope about 6000 $m^3$ in volume, filled with helium, an instrumentation-carrying gondola (15 kg mass), and a guiderope (13 kg-mass). In the daytime the balloon is floating in the atmosphere several kilometers above the surface. In the night-time the lower part of the guiderope falls on the surface whereas the envelope and the top of the guiderope are always above the surface. The principal function of the guiderope being to protect the gondola and balloon from touching the surface, it is also used for placing those scientific instruments which can operate only very closely to or in contact with, the surface. Such instruments have their own power supply and operate autonomously. The measurement data should be sent to the balloon gondola via the radio link. The balloon moves either up or down due to the effect of heating by solar rays, with helium volume increasing during the day or with helium cooling and decreasing its volume during the evening, night and morning hours. The height of the surface where the balloon may be inserted into the atmosphere should be one or two km below the zero level of the planet surface. Maybe, during the preparation of the project it would be possible to extend that range, to the zero level. In the daytime the maximum height up to which the balloon may rise should be two km with respect to the zero level. Scientific measurements are planned both for a free flight and with the guiderope on the surface. The information acquired after the data reduction and compression is written into 50 Mbit-memory. From that memory unit and from the TV cameras (online mode) the data are relayed via the radio link for the Soviet and US satellites of Mars.
Communication sessions with satellites are run when they are in the visibility zone of the balloon. It should be at about 2 p.m. and 2 a.m. (local time) for the US spacecraft. For the Soviet spacecraft it should be at the orbit pericenter during the day and within the area far from the surface during the night. The balloon station starts transmitting TM data to the satellite after receiving an interrogation signal from it. every 24 hours the balloon station should transmit not less than 100 mln bit data.
Each small station has its lander provided with an aerobraking shield, a chute and a shockabsorber. Landers are jettisoned by the spacecraft several days before their approach to Mars. Each of them is imparted a certain velocity increment so that they could land at several present latitudes (polar latitudes included).
The major task of a network of small stations (4 stations: two for each spacecraft) is direct measurements of meteorological parameters to learn more about the general atmosphere circulation and to predict meteorological conditions for this and next missions. Advantages of such a network are global coverage, a possibility to jettison meteorological stations into most interesting areas (that is, canyons, old river beds hardly accessible with other instruments), a possibility to conduct long-duration observations (not less than one Martian year) covering all seasons, including a season of dust-storms. Instrumentation of small stations will measure the pressure, temperature, humidity, wind velocity and optical transparence of the atmosphere. A miniature gamma-spectrometer could provide essential information about water and gas exchange between the atmosphere and the solid surface, about the elemental composition of the dust settling on the planet.
A possibility to install a onecomponent spectrometer and a magnetometer aboard the small stations is now under consideration. The seismometer will measure proper and tidal oscillations of the planet, and thus to determine the level of Mars' seismic activity. The magnetometer will measure the local magnetic field, transient processes accompanying variations in the external magnetic field, it will also reconstruct from them the

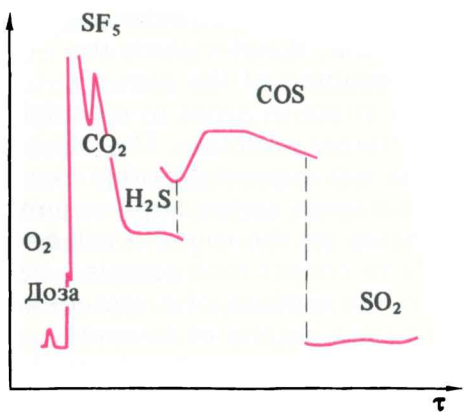
patterns of rock conductivity at various depths.
Small stations as well as a balloon will transmit data to the Soviet and US satellites of Mars in response to the interrogation signal.
The heating and power supply of the onboard equipment of small stations are provided by plutonium sources with a thermoionic generator and a buffer chemical battery.
Penetrators jettisoned onto the surface of Mars, will help study physical and mechanical properties of the soil and the inner structure of the planet.
Contrary to small stations, the penetrator will land at a high velocity—of about 100-150 m/s. During the impact their design permits them to penetrate several meters deep beneath the surface.
The scientific instrumentation of the penetrator will include a TV camera, a set of spectrometers an accele rometer and a seismometer, a magnetometer, a meteo complex.
Each penetrator enters the atmosphere from a Martian satellite, independently of others, after the landing sites are updated.
When all (4) penetrators are set, a network of long-term stations starts functioning, making seismic measurements over a long period of time, the lifetime of penetrators being 1—2 years. Thus, investigations to be made with balloons, small landing stations and penetrators will provide, above all, the data which could not be obtained from Martian orbiters.
These investigations cover TV survey of the surface, with a resolution from several centimeters to several tens of centimeters; spectrometry of the surface with a ground resolution from several meters to several tens of meters; magnetic field measurements below the ionosphere; studies of the boundary layer of the atmosphere and of its variability during 24 hours; impulse and radar sounding of the surface to determine the characteristics of Martian rocks down to several hundreds of meters; studies of the elemental composition of the surface layer with a high ground resolution (from several hundreds of meters to several kilometers); direct meteorological measurements on the surface of the planet at different latitudes; studies of water and carbon dioxide exchange processes between the atmosphere and the solid surface; local measurements of the atmospheric transparence; mechanical, thermal, chemical and electric studies of the surface and several meters deep, beneath the surface.
As has already been mentioned, one of the goals of the MARS-94 Project will be selection of spacecraft landing sites for future projects; these sites should be optimal for landing and for scientific research opportunities. In particular, one of the main objectives of the MARS-94 Project will be delivery to the planet of automatic Martian rovers.
Preliminary analysis and tests in conditions maximally close to real ones have shown that it is most rational to use for the Mars rover's running gear a six-wheeled propulsive device with motor wheels which are all drive ones and with a jointed frame. The wheels will be made as conical-cylindrical shells with cleats. Such a system of the running gear has some merits: a low mass; the exclusion of the danger of the Mars rover's landing on the bottom; enhanced longitudinal and transverse stability; due to the low position of the mass centre; the capacity to move on soft soil with a large gradient and to overcome, due to the jointed frame, sufficiently high obstacles.
The control of the motion of the Mars rover over a distance of millions of kilometres is a difficult technical problem. For instance, the Mars rover must be able to circumvent obstacles which it did not see on its way just 20 or 30 minutes ago. Radio signals will need roughly the same time to cover the distance from Mars to the Earth and back. The solution of the problem lies in making the Mars rover as an expert system by imparting some intelligence to it. The Earth will determine the strategy of the operation while the robot will determine the tactics. While for the orbital module this means the autonomy in solving some navigation problems, for the Mars rover this implies sophisticated, self-contained and adaptive motion control.
In addition to the television system the Mars rover must be provided with a laser rangefinder for determining the route and for motion control.
The navigation system of the Mars rover must solve two major problems: the entry into prescribed regions and the coordinate fixation of the route. The succession of the circumvention of prescribed regions will be determined depending on the real coordinates of the landing point. It is planned that the referencing of the landing point and the route of the Mars rover to the terrain will be carried out according to the data of the independent systems of calculating the route and astronomical observations (of the Sun and stars) and by a special system including facilities for raising TV cameras from several tens to hundreds of metres over the Martian surface. This system makes it possible to scan the region about 100×100 m in size, with the resolution better than 1 m, which offers an opportunity of precise referencing of the Mars rover to the photoplan of the Martian surface.
It is intended to use three means of raising TV cameras: the balloon, aerodynamic (kites) or ballistic methods. The latter

method is regarded as the reserve one and will be used when the first two methods malfunction or cannot be used (for instance, during unfavourable meteorological conditions).
The range of the Mars rover's motion must be hundreds of kilometres. The speed will depend on energy potential, the relief of the terrain and the research programme on the motion route. Solar cells or isotopic thermoelectrogenerators can be used as a power source.
The research programme for the Mars rovers will be extensive. In particular, it will include the vibroprobing of the planet's deep strata in order to elucidate its internal structure. The Mars rover will make it possible to take a large series of panoramic pictures on the route. It will be able to collect rock samples from the surface of a vast area and from depths of several metres. Rock sampling from planetary deep strata is important for future biological analysis since this will increase the probability of detecting some life forms. Subsequently the Mars rover with collected samples would serve as a radio beacon on the suitable area it chose by it for the future landing module equipped with a return rocket for delivering Martian soil to the Earth.
Possible version of implementing this stage of research is the launching of two self-contained vehicles. One of them will land on the Martian surface and the other will become a Martian moon. The landing module must have a take-off and a small Mars rover for collecting soil at a sufficient distance from the landing site. The Mars rover will have manipulators and a soil sampler which will make it possible to take soil samples from a sufficiently large depth. The takeoff rocket will deliver soil samples to the orbiter and will dock with it. Then soil samples will be reloaded to a special module which will be returned to the Earth. When this module approaches the Earth, it will be intercepted by the orbital module.
It would be reasonable to perform the primary analysis of Martian soil samples aboard the space probe. This would solve the problem of quarantine ruling out the carriage of extraterrestrial organisms to the Earth, no matter how little such probability can be.
The link-up operation in orbit is worked out well in the Soviet Union. However, due to the stringent mass limit in interplanetary missions, great efforts must be made for creating superlight docking systems and units.
As a base complex for implementing the Martian research programme *Spektr* spacecraft will be used. The Phobos project was the first experience in using such vehicles.
Spacecraft will be launched by the highly reliable *Proton* booster rocket.
It is also intended to use the new *Energiya* booster for launching payload into outer space under the Mars exploration programme. In this case one expedition could solve the main problems of the long-range Martian programme, including a simultaneous study of much more regions on the planet by Mars rovers, balloons and mini-landers. Preliminary estimates show that a single launching by the *Energiya* booster rocket can deliver three Mars rovers to Mars—a heavy Mars rover which will be able to carry out deep drilling and two light Mars rovers, several cassettes with ten meteorological beacons each and a large number of penetrators. The launching by the *Energiya* booster will considerably reduce weight limitations in solving the problem of bringing soil samples from Mars.
Scientists in the IKI are also cnsidering other projects for planetary studies. Some of them are already in the stage of analysis (the project of the flight to giant planets with the subsequent entry into the internal part of the solar system for exploring the solar corona from close distances) while others are at the level of ideas.
It is planned that Jupiter and Saturn will be studied with descenders (atmospheric probes) and artificial satellites, Titan, with a lander and a balloon probe. For one mission a combination from two or three various vehicles is also possible.
The main objectives for studying Jupiter and Saturn will be: direct measurements of temperature, pressure, and density of the atmosphere, its chemical and isotopic composition; the study of the cloud layer structure and characteristics of aerosol particles including the analysis of their chemical composition; measurements of the wind velocity, of the fluxes of the solar and thermal radiation; recordings of electrical events in the atmosphere; the analysis of its neutral and ion composition, the electron and ion concentration.
It is also envisaged the study of the meteoritic matter near planets, of the magnetic field in the magnetosphere, measurements of energy spectra of charged particles, recordings of radio emission of planets, the investigation of morphological characteristics of the surface of planetary satellites.
One of the objectives to study Titan with a lander will be the imaging of its surface, the analysis of its composition and of mechanical properties.
A balloon probe drifting in the atmosphere of Titan will measure its temperature and pressure, the velocity and direction of the wind, parameters of the turbulence; this probe will also study characteristics of aerosol and the chemical composition of the atmosphere.



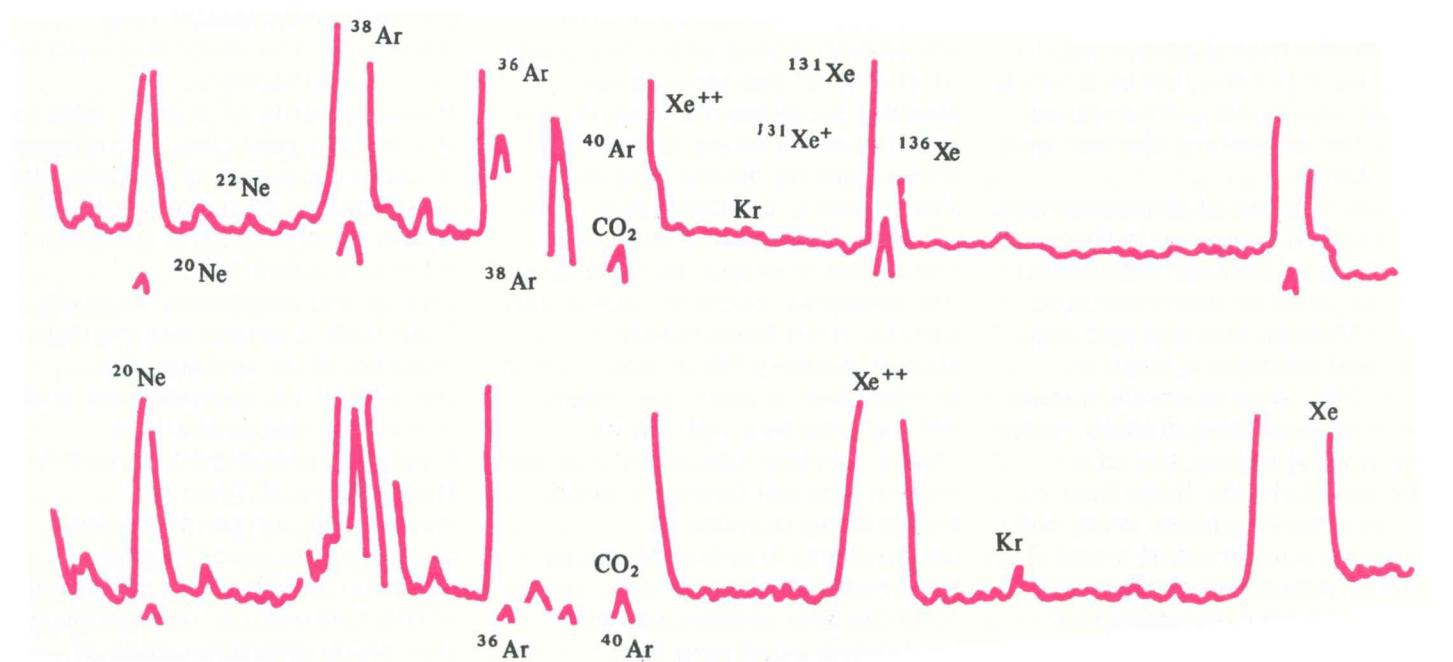
*Калибровка прибора ИОАВ на лабораторном стенде*

*Calibration of the IOAV on a laboratory stand*




*Одна из хроматограмм, полученных на «Венере-13». Видны пики, соответствующие $O_2$, $CO_2$, $SO_2$ и другим малым молекулярным составляющим атмосферы Венеры*

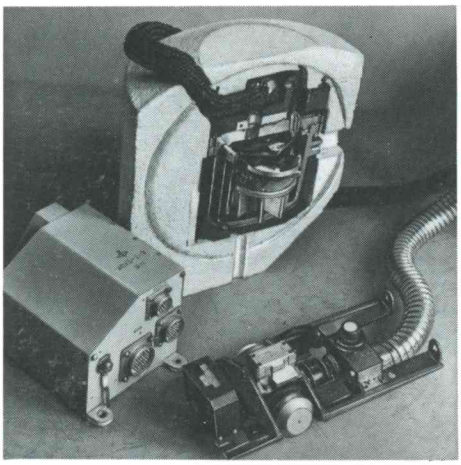
*One of the chromatograms obtained on board Venera 13. Peaks are visible corresponding to $O_2$, $CO_2$, $SO_2$ and other minor molecular components of the Venus atmosphere*




*Образцы первичных (необработанных) масс-спектров, полученных на спускаемых аппаратах «Венера-13» и «Венера-14» в режиме анализа благородных газов. Амплитуды масс-пиков в условных единицах*

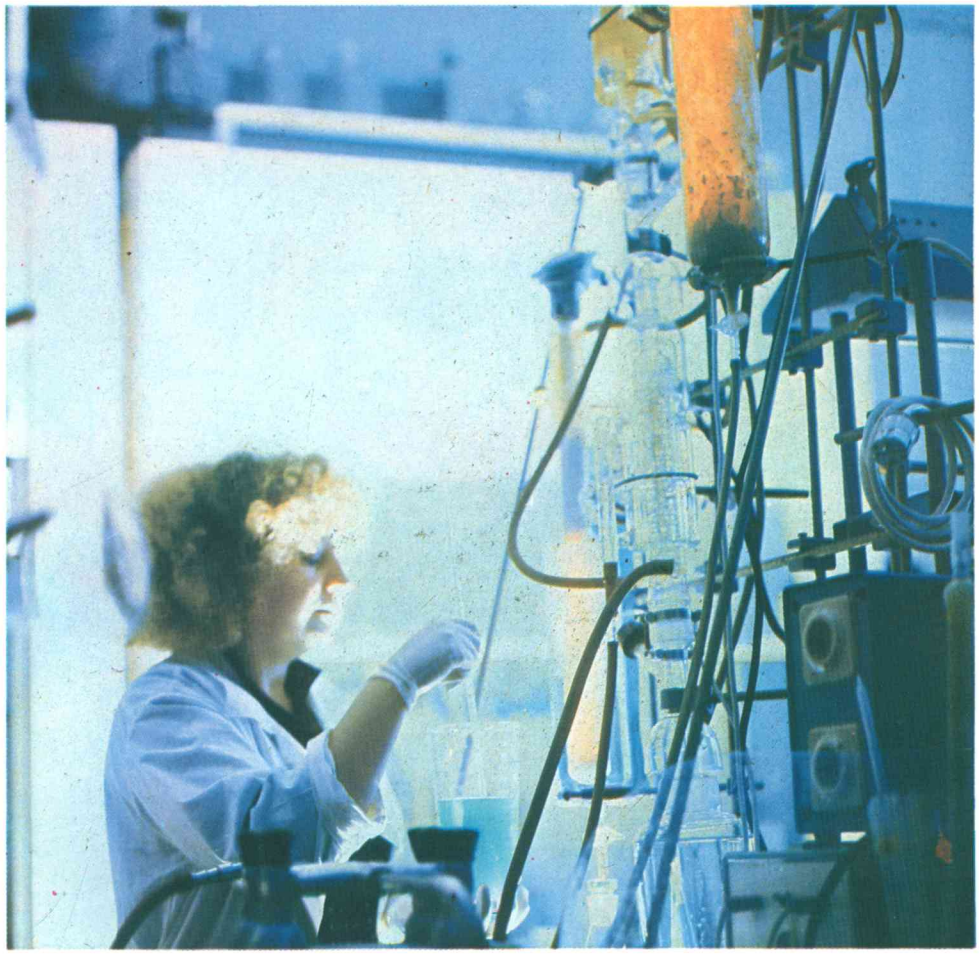
*Samples of original (unprocessed) mass-spectra obtained on board descent vehicles of Venera 13 and Venera 14 in the noble gas analysing mode. Amplitudes of masspeaks are given in conventional units*

*Образцы спектров солнечной радиации, рассеянной в глубоких слоях атмосферы Венеры, впервые измеренной на «Венере-11, -12» (числа вблизи кривых — высота над поверхностью в километрах)*



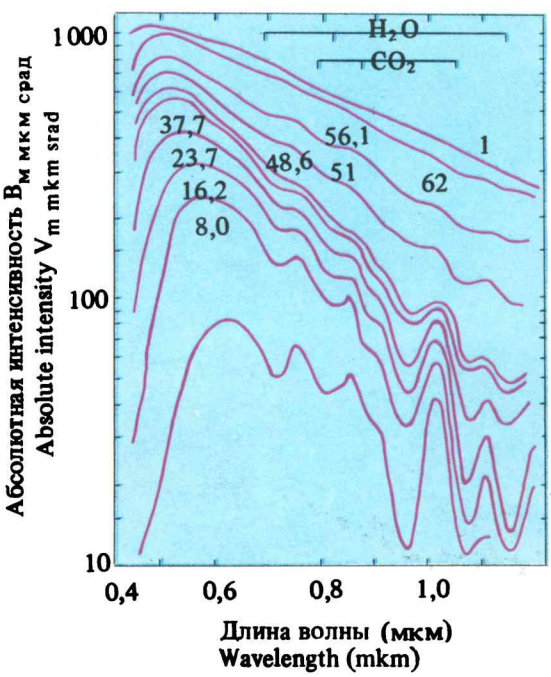
*Спектрофотометры ИОАВ и ИОАВ-2 («Венера-11, -12, -13, и -14»). С их помощью было измерено содержание водяного пара в атмосфере Венеры от поверхности до высоты 60 км*

*Spectrophotometers IOAV and IOAV 2 (Venera 11, 12, 13, 14). They measured the water vapour content in the Venus atmosphere from the surface and up to 60 km*

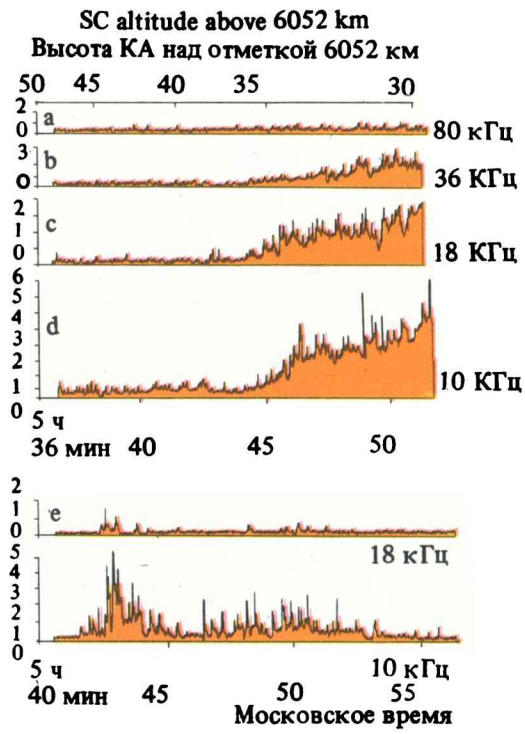


*В одной из лабораторий отдела планетных исследований Института*

*One of the laboratories of the department of planetary exploration of the Institute*

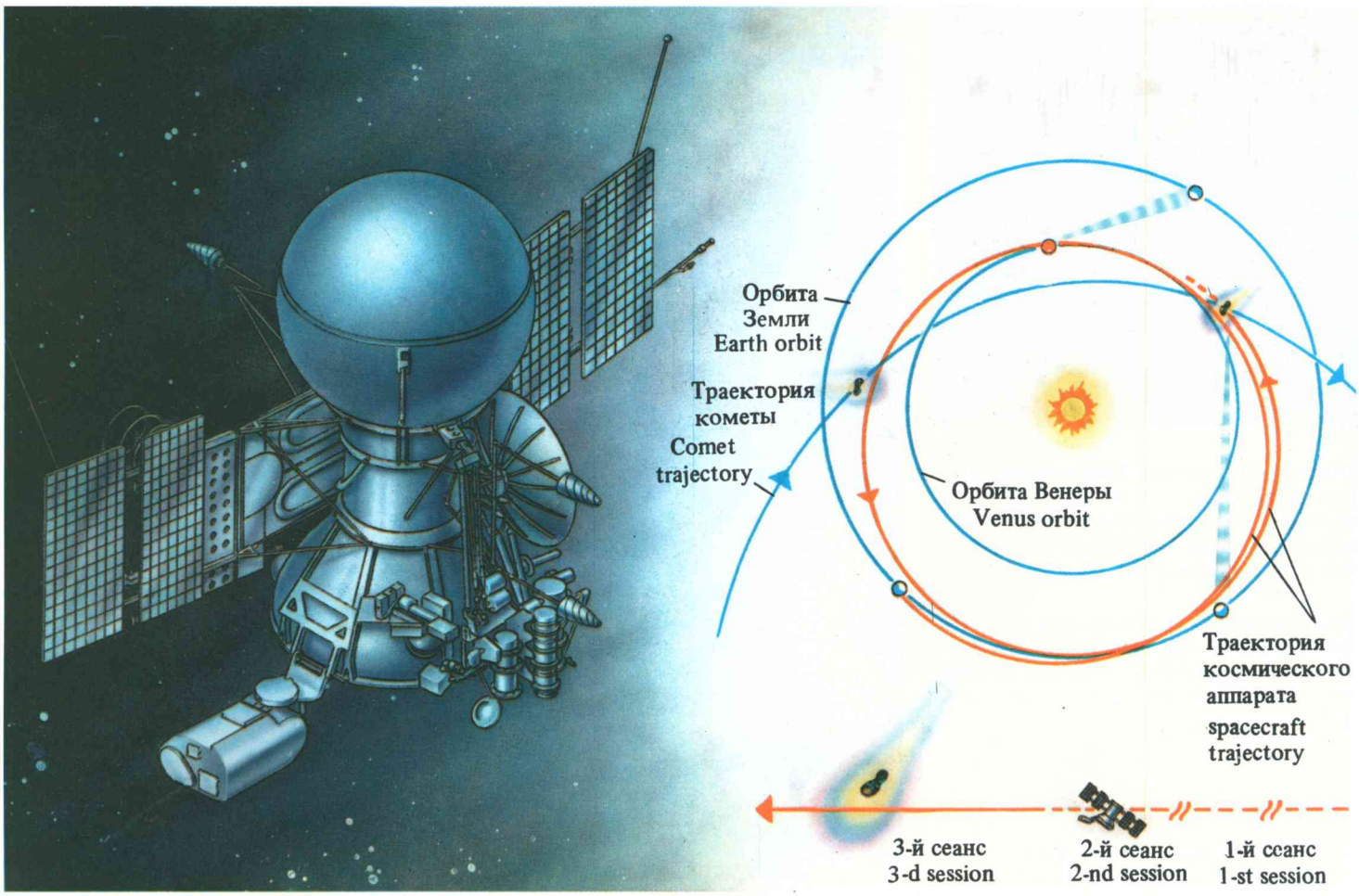


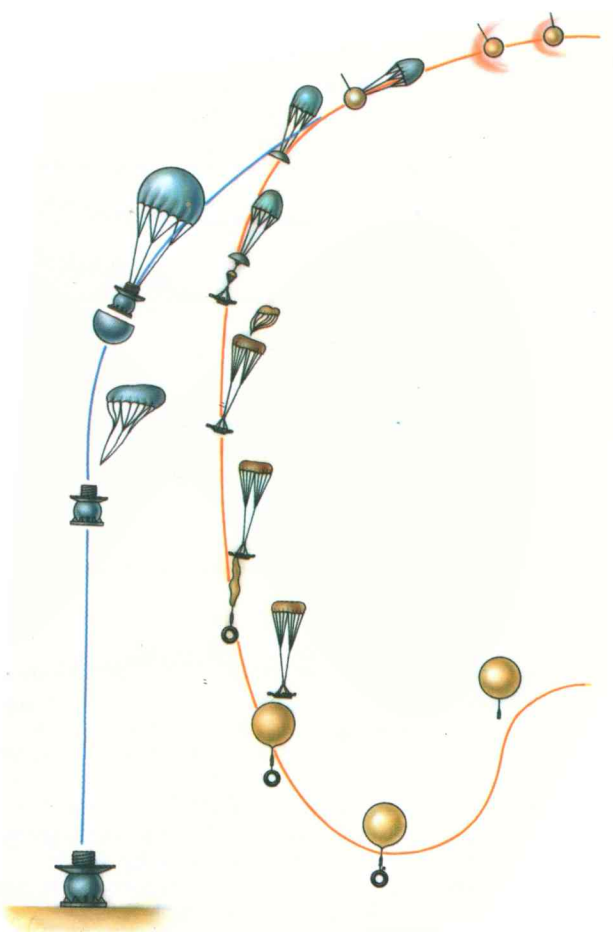

*Samples of solar radiation spectra scattered in deep layers of the Venus atmosphere first measured on board Venera 11, 12 (figures near curves indicate the altitude above surface in km)*



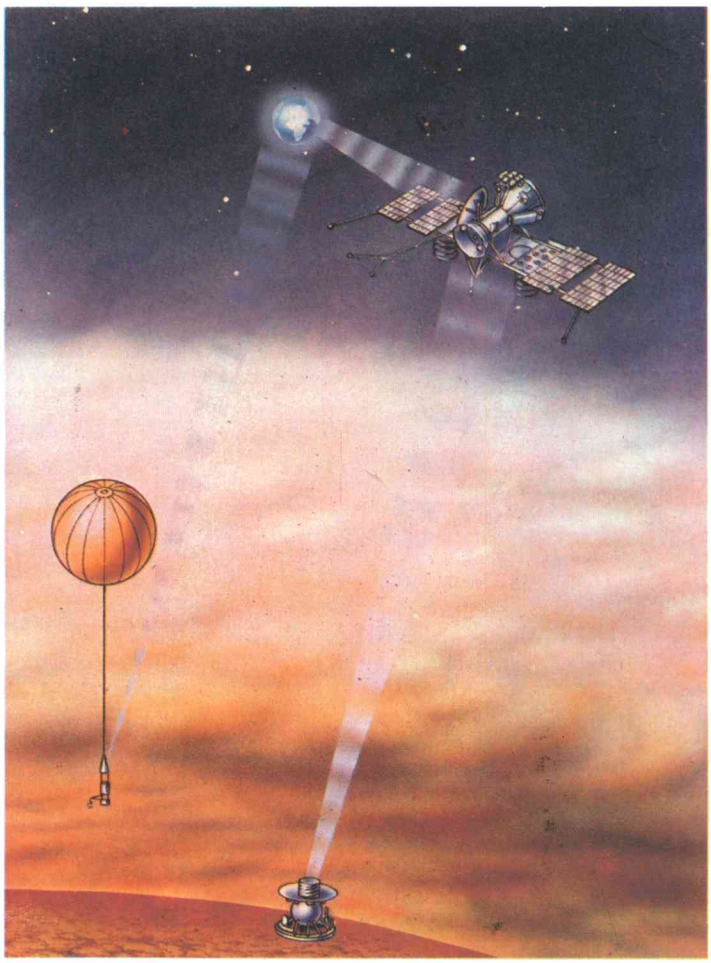

*Спорадическое низкочастотное электромагнитное излучение в атмосфере Венеры, генерируемое, по-видимому, электрическими разрядами. Впервые зарегистрировано на «Венере-11» и «Венере-12»*

*Sporadic low-frequency electromagnetic radiation in the Venus atmosphere, generated evidently by electric discharges. First recorded on board Venera 11 and Venera 12*


Орбита
Земли
Earth orbit
Траектория
кометы
Comet
trajectory
Орбита Венеры
Venus orbit
Траектория
космического
аппарата
spacecraft
trajectory
3-й сеанс
3-d session
2-й сеанс
2-nd session
1-й сеанс
1-st session



Уссурийск
Ussuriisk
Москва
Moscow
Опорный
радиосигнал
с ОА
Orbiter reference signal
Крым
Crimea
Радиосигнал
с аэростатного
зонда
Balloon probe signal



*Космический аппарат «Вега» и схема его полета*

*Vega spacecraft and the scheme of its flight*

*Пылеударный масс-анализатор ПУМА*

*A dust-impact mass-analyzer PUMA*

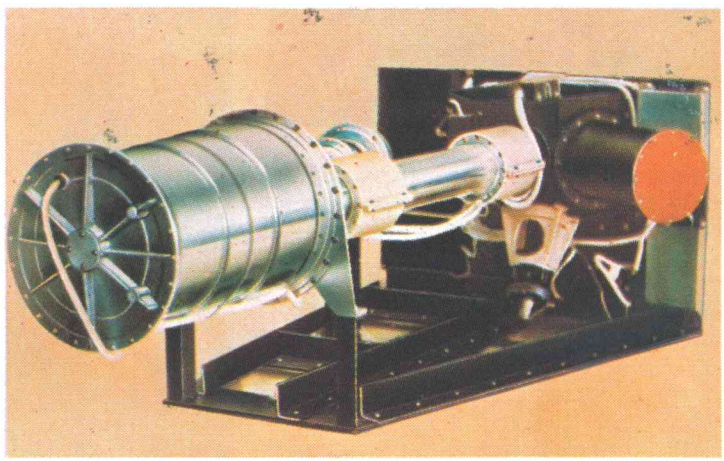


*Схема спуска аппарата с введением аэростатного зонда*

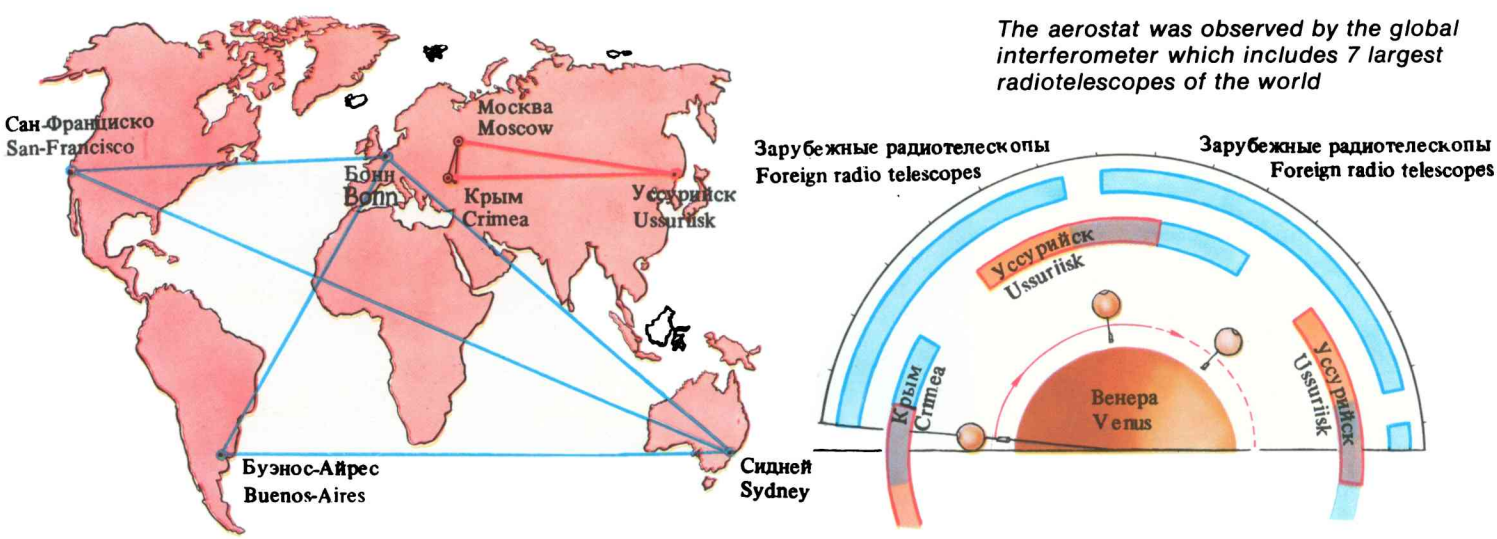
*Scheme of the spacecraft descent with the injection of the aerostat probe*

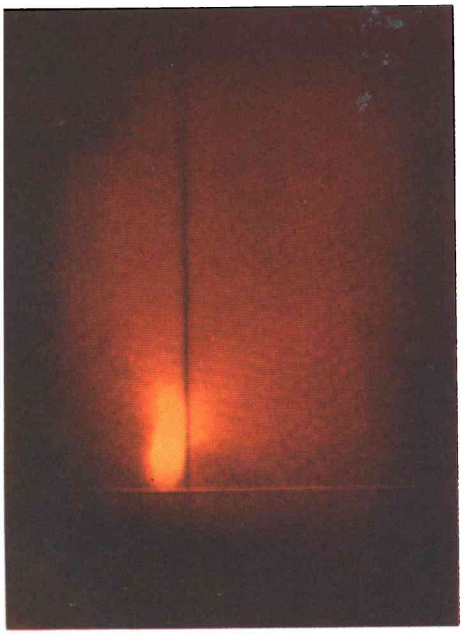
*Эксперимент «Аэростат»*

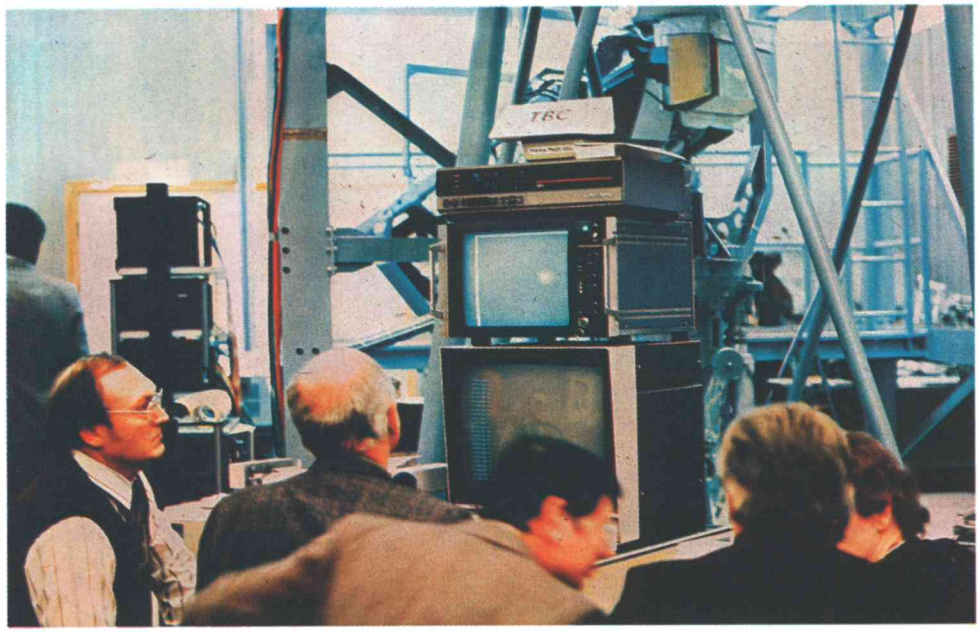
*The Aerostat experiment*

*Наблюдения за движением аэростата выполнялись с помощью глобального интерферометра, в состав которого входили 7 крупнейших радиотелескопов мира*

*The aerostat was observed by the global interferometer which includes 7 largest radiotelescopes of the world*





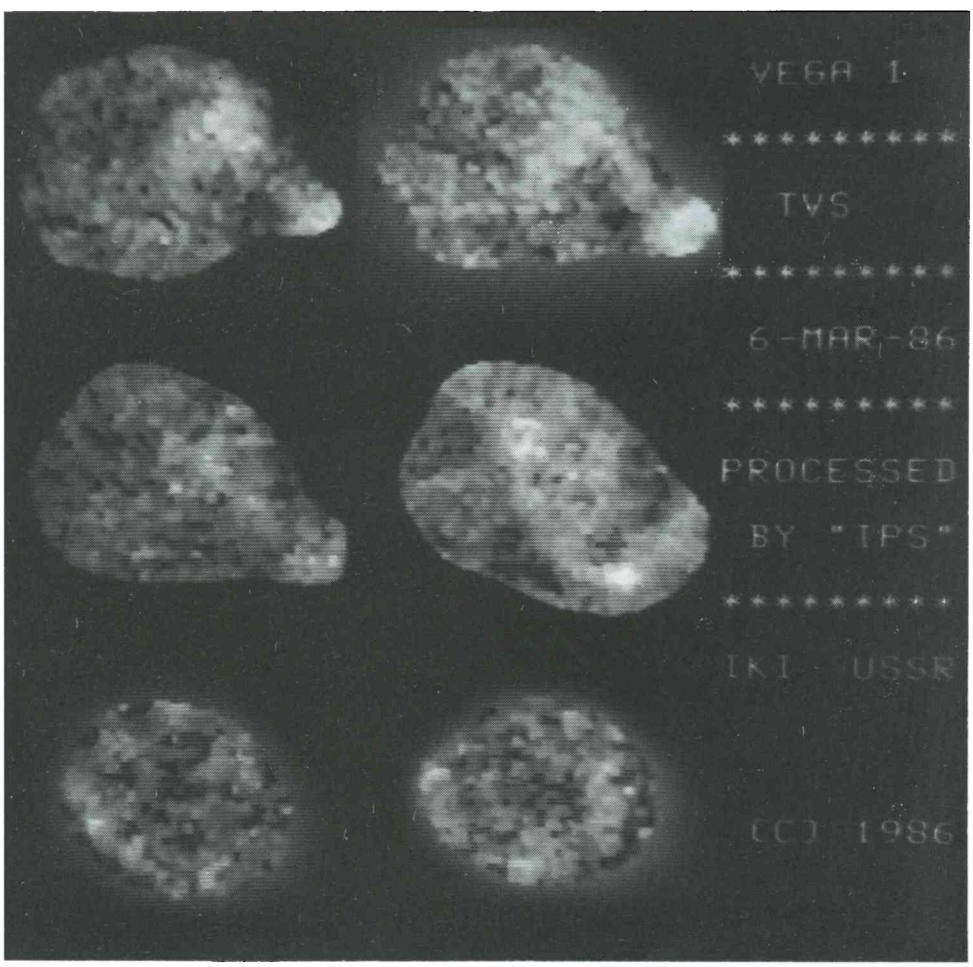


*6 марта 1986 г. на экранах мониторов в ИКИ АН СССР появились первые изображения ядра кометы Галлея*

*The first images of the Halley comet nucleus on monitor screens at the Space Research Institute, March 6, 1986*

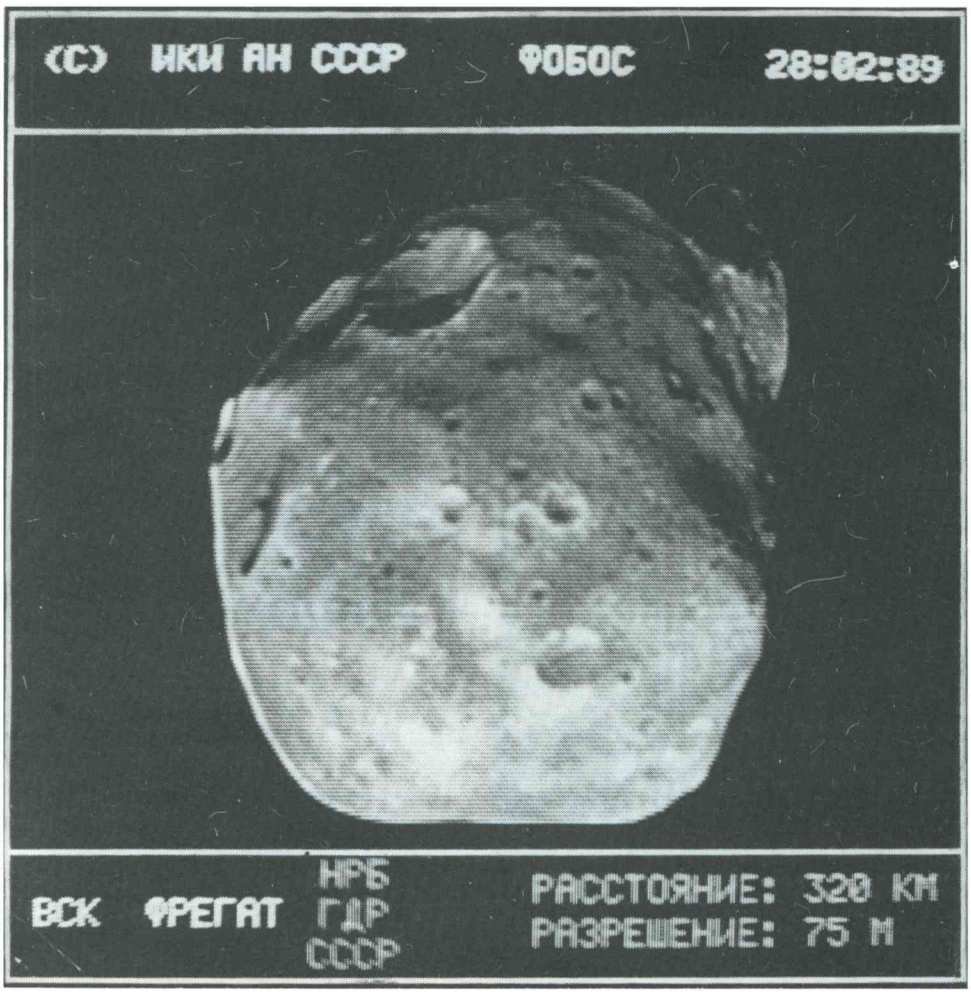
*Изображение ядра кометы Галлея, переданное с борта автоматической станции «Вега-2» 9 марта 1986 г.*

*The image of the Halley comet nucleus transmitted from the board of the automatic station Vega 2 on March, 9, 1986*




*Так выглядит ядро кометы Галлея после обработки изображений на ЭВМ*

*The Halley comet nucleus after computer processing of images*

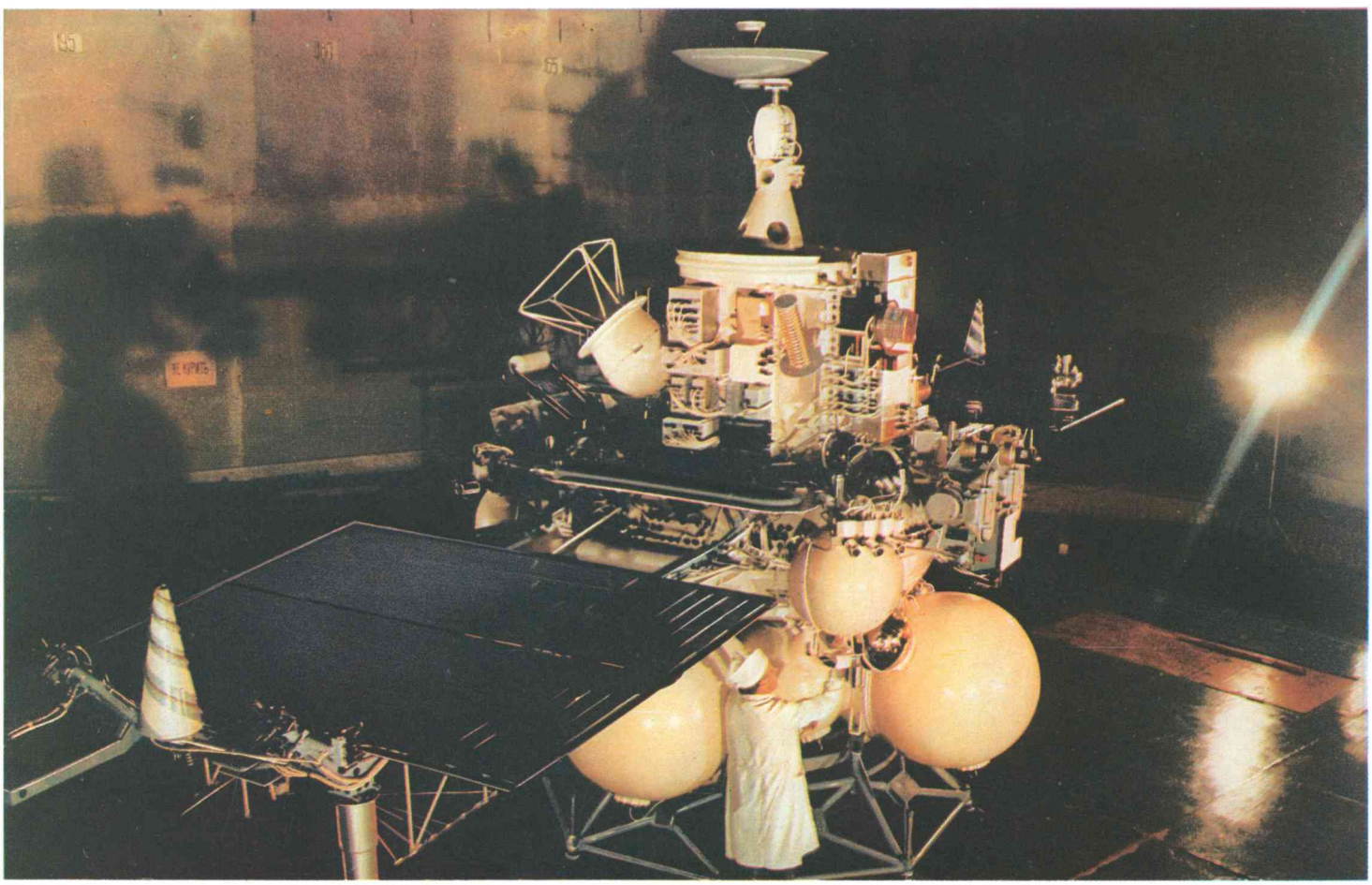


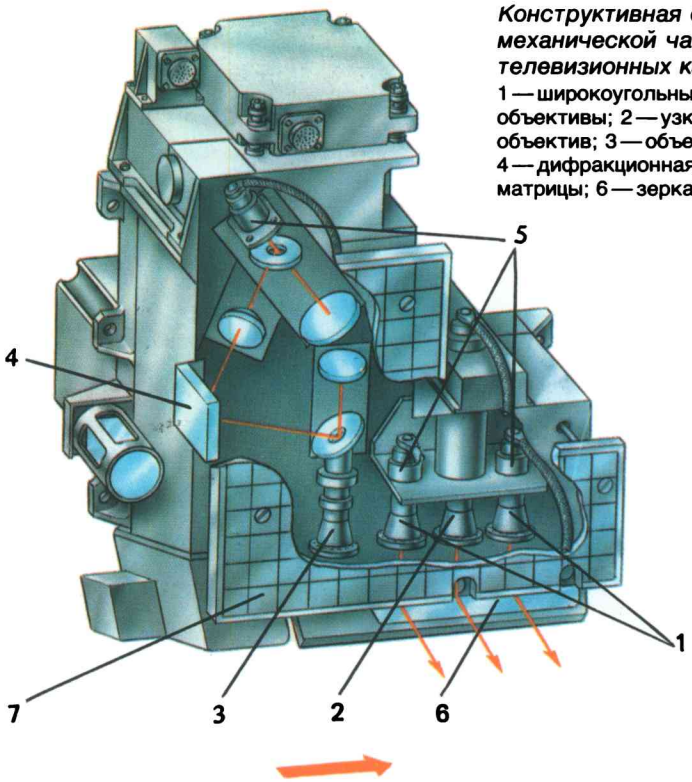

*Спутник Марса Фобос*

*Phobos — Mars satellite*

*Автоматическая межпланетная станция «Фобос»*

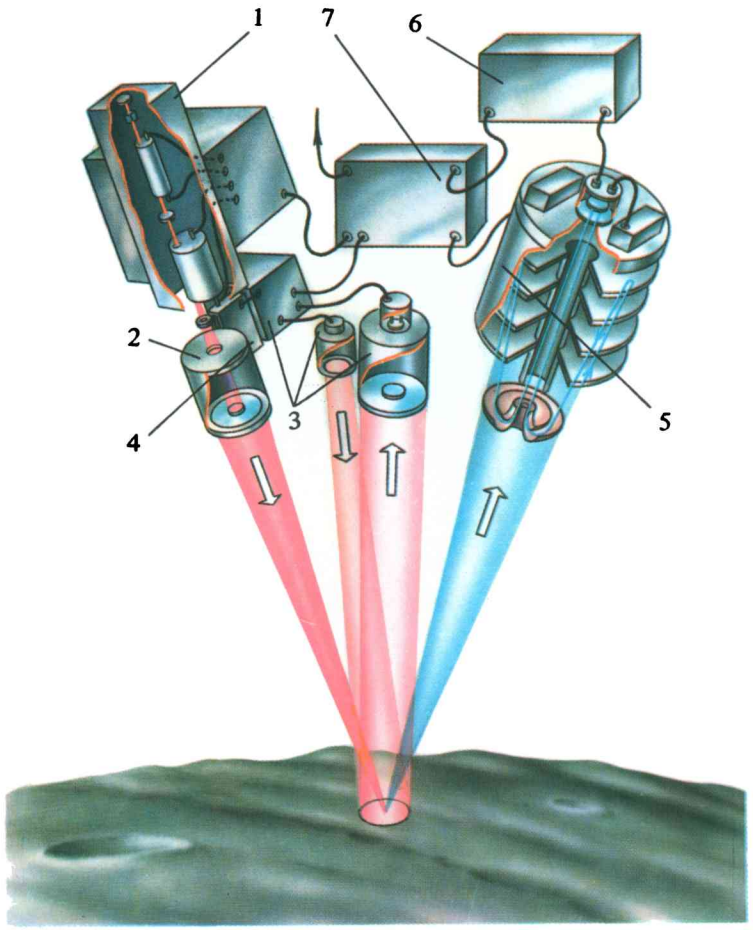
*The Phobos automatic interplanetary station*






*Конструктивная схема оптико-механической части блока телевизионных камер и спектрометра:*
1 — широкоугольные телевизионные объективы; 2 — узкоугольный телевизионный объектив; 3 — объектив спектрометра; 4 — дифракционная решетка; 5 — ПЗС-матрицы; 6 — зеркало-крышка; 7 — радиатор

*The constructive scheme of optical and mechanical part of the unit of TV cameras and the spectrometer:*
1 — wide-angular TV objectives; 2 — narrow-angular TV objective; 3 — spectrometer objective; 4 — diffraction lattice; 5 — CCD-matrix; 6 — mirror-cover; 7 — radiator



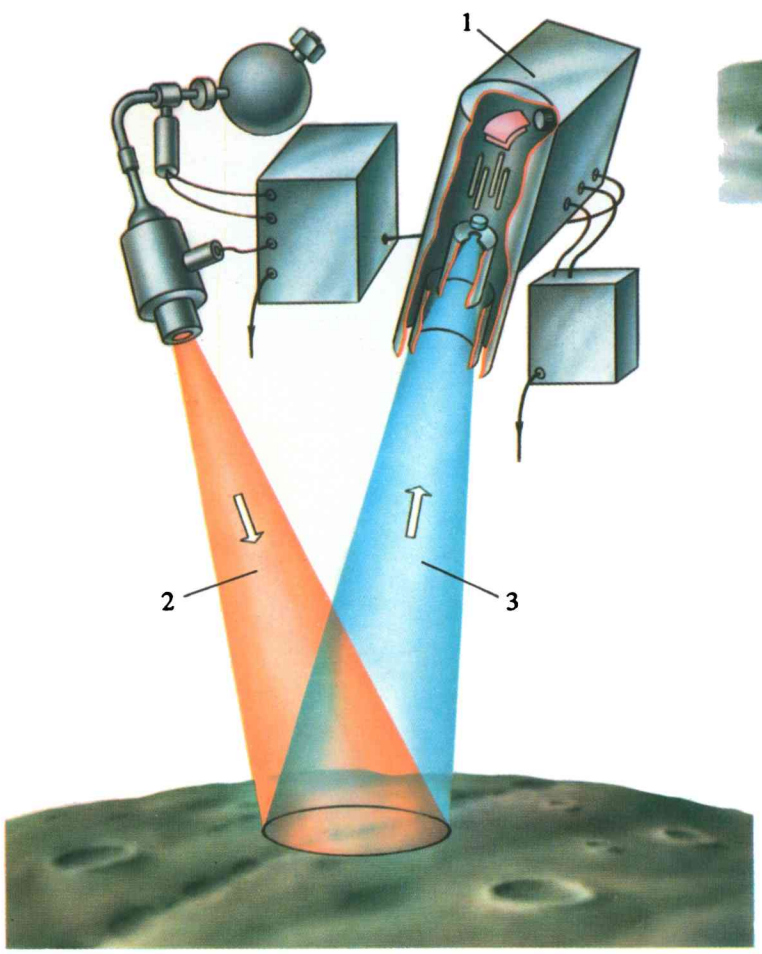
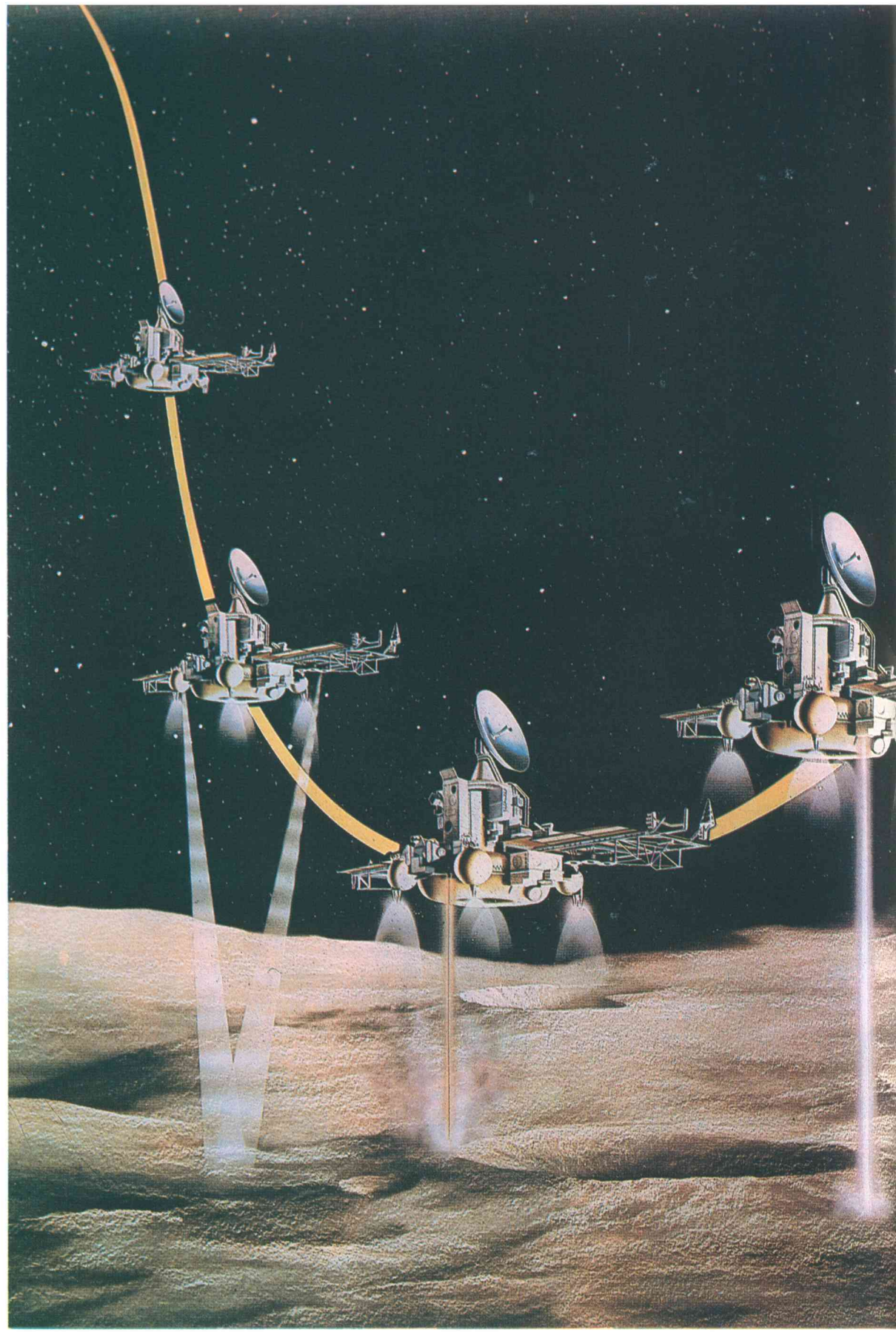




*Схема эксперимента по лазерному зондированию поверхности Фобоса:*
1 — лазер с источником питания; 2 — фокусирующий объектив; 3 — дальномер; 4 — сервопривод; 5 — рефлектрон с детектором ионов; 6 — блок обработки данных; 7 — блок управления

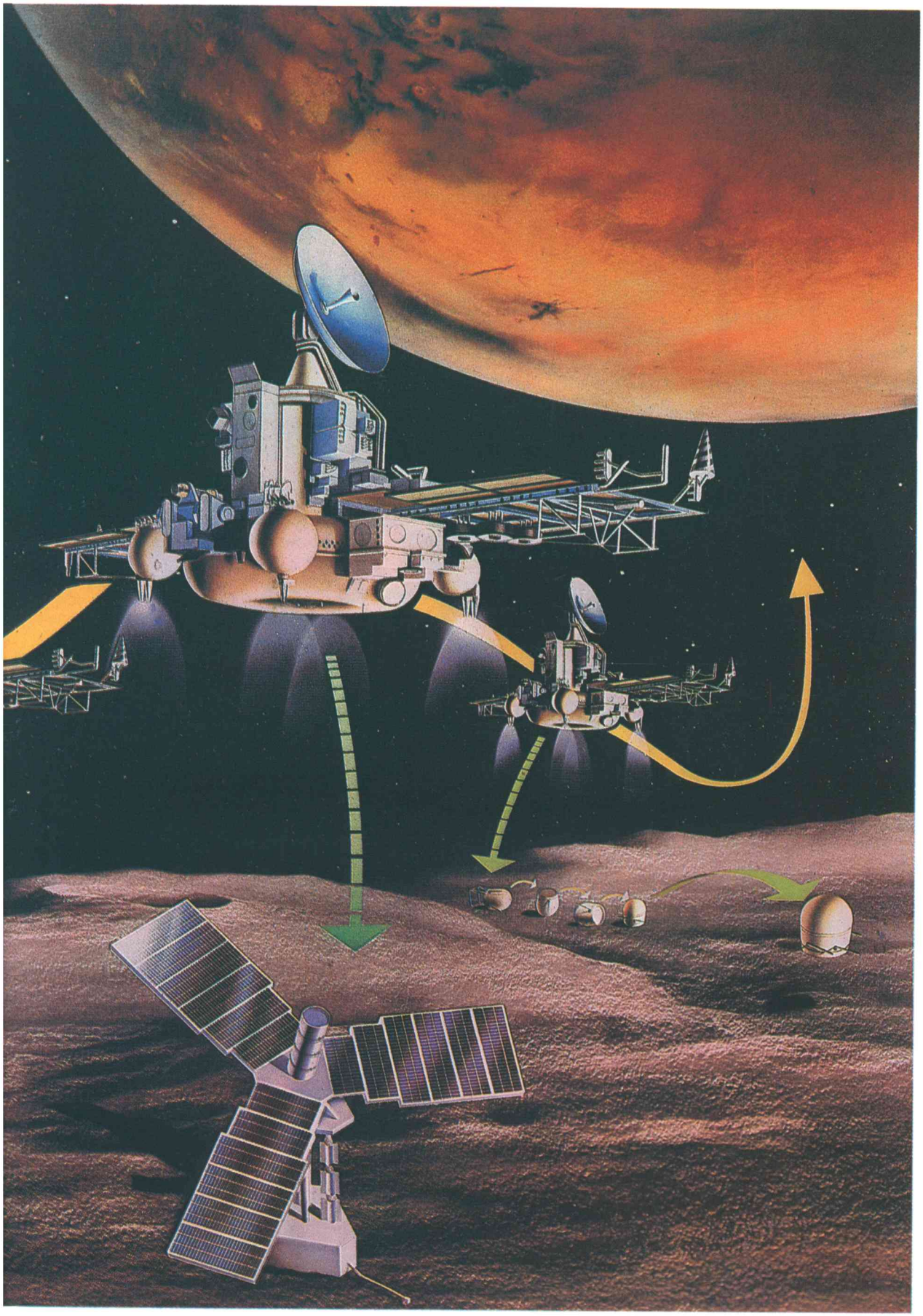
*The scheme of the experiment on laser probing of the Phobos surface:*
1 — laser with the power source; 2 — focusing objective; 3 — range finder; 4 — servomotor; 5 — reflectron with the ion detector; 6 — unit of data processing; 7 — control unit

*Схема эксперимента по ионному зондированию поверхности Фобоса:*
1 — инжектор ионов; 2 — блок электроники; 3 — масс-спектрометр

*The scheme of the ion probing of the Phobos surface:*
1 — ion injector; 2 — electronics unit; 3 — mass-spectrometer



*Так в представлении художника должен был выглядеть космический аппарат «Фобос» в бреющем полете над поверхностью марсианского спутника*



*This is how the painter sees the Phobos spacecraft in low-level flight above the surface of the Martian satellite*

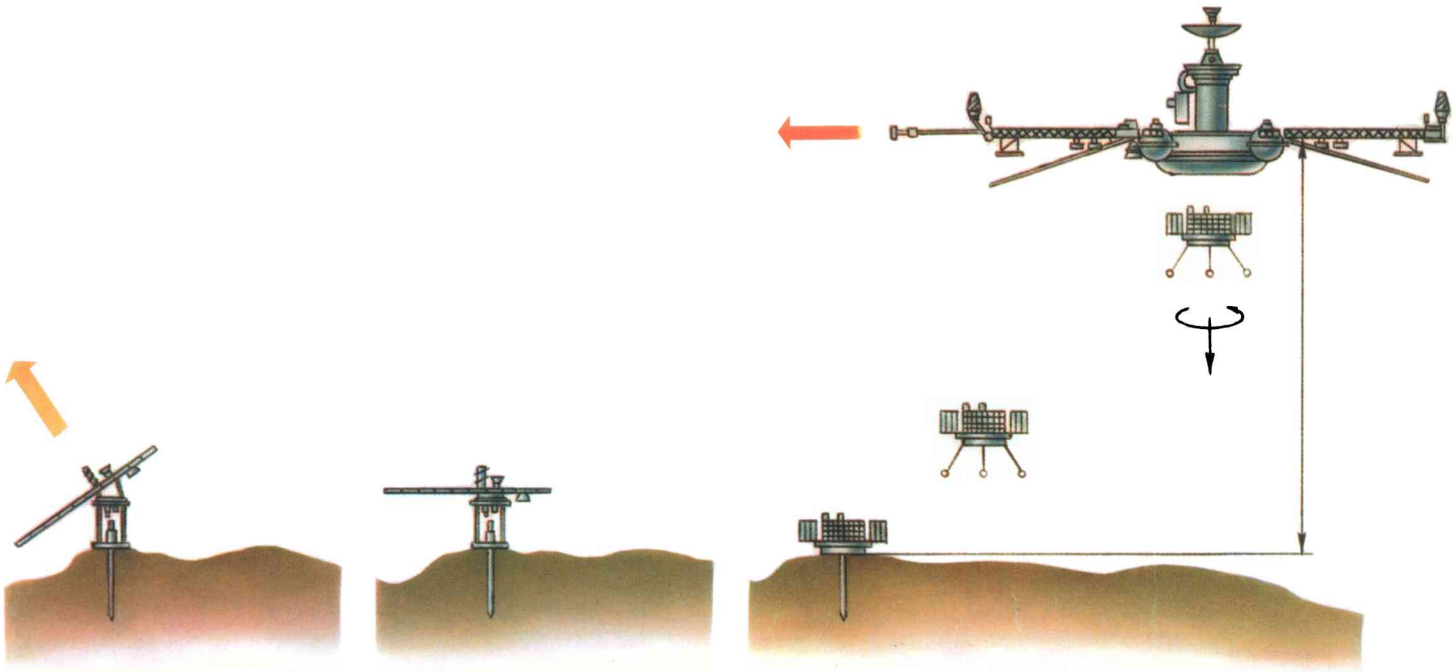


*Схема посадки долгоживущей автономной станции на поверхность Фобоса*

*The scheme of the landing of a long-living autonomous station (LAS) at the Phobos surface*

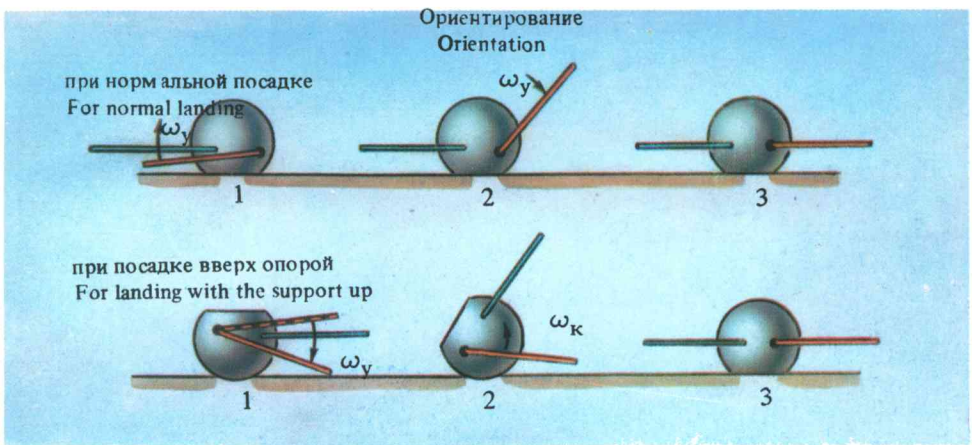
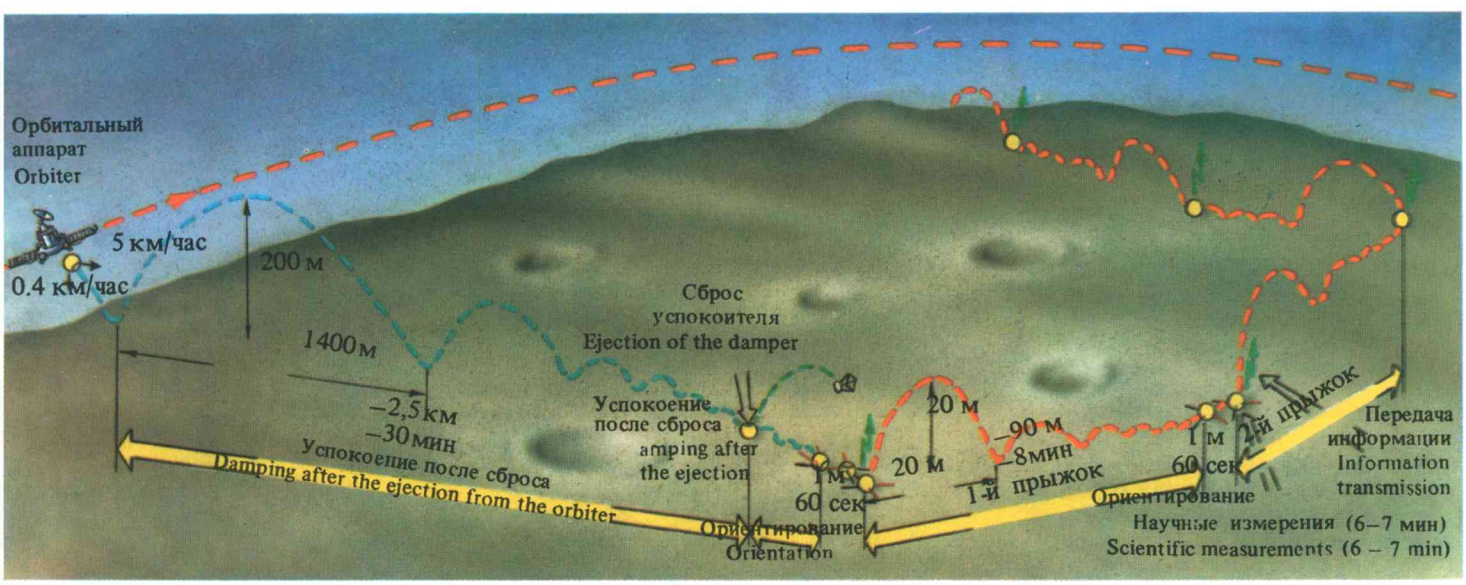
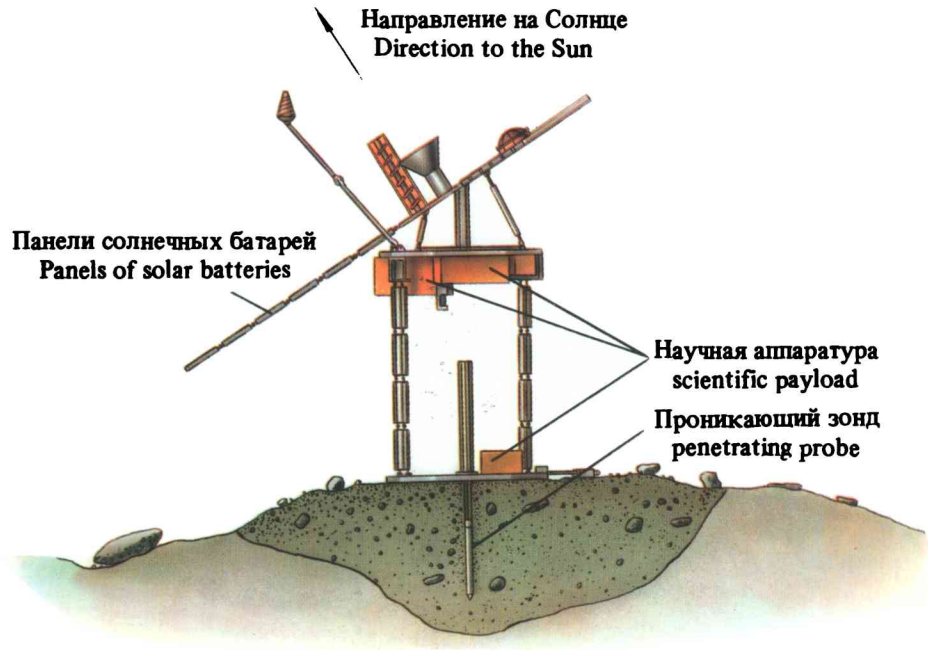
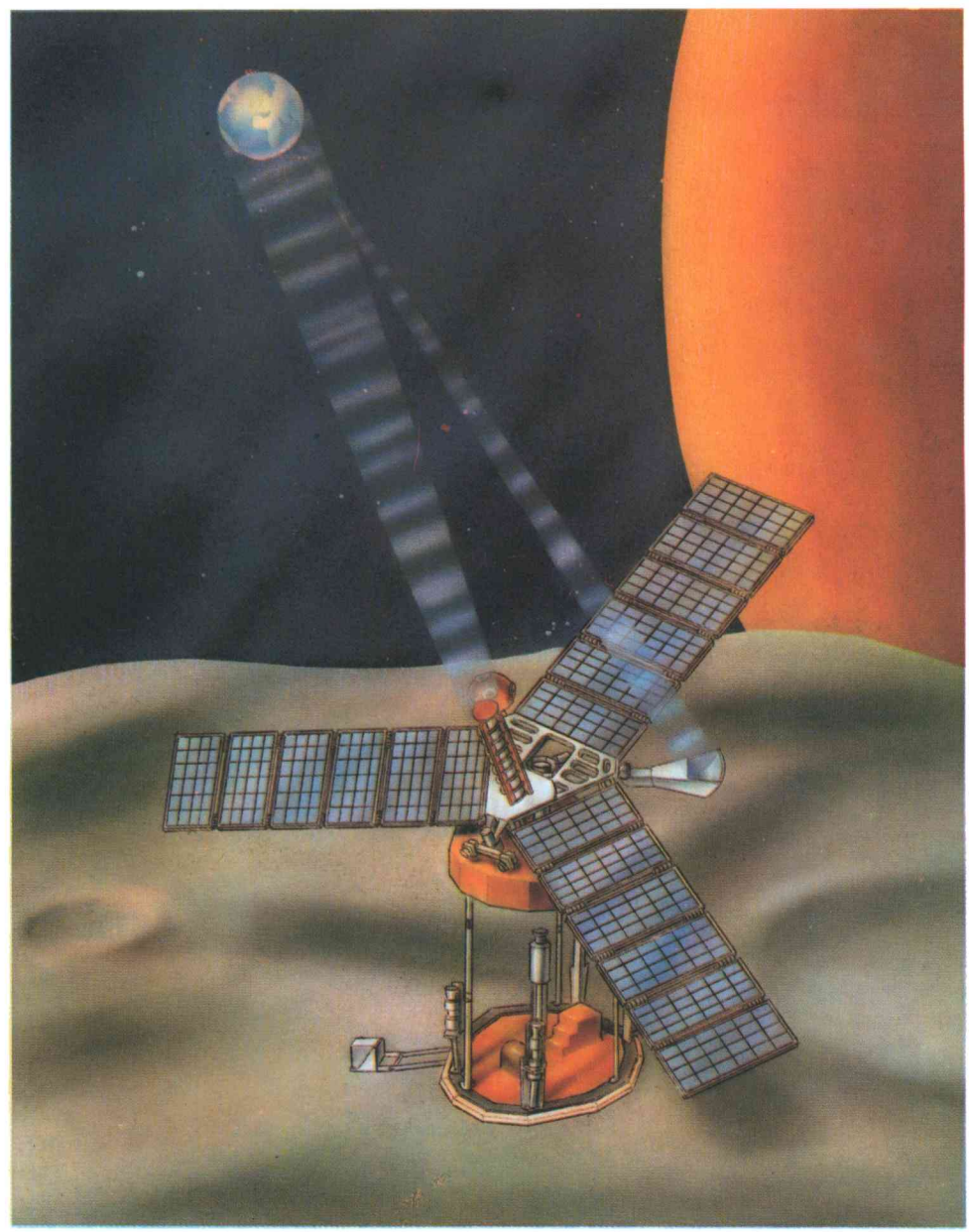



*Схема работы подвижного зонда на поверхности Фобоса*

*The scheme of the operation of the mobile probe at the Phobos surface*

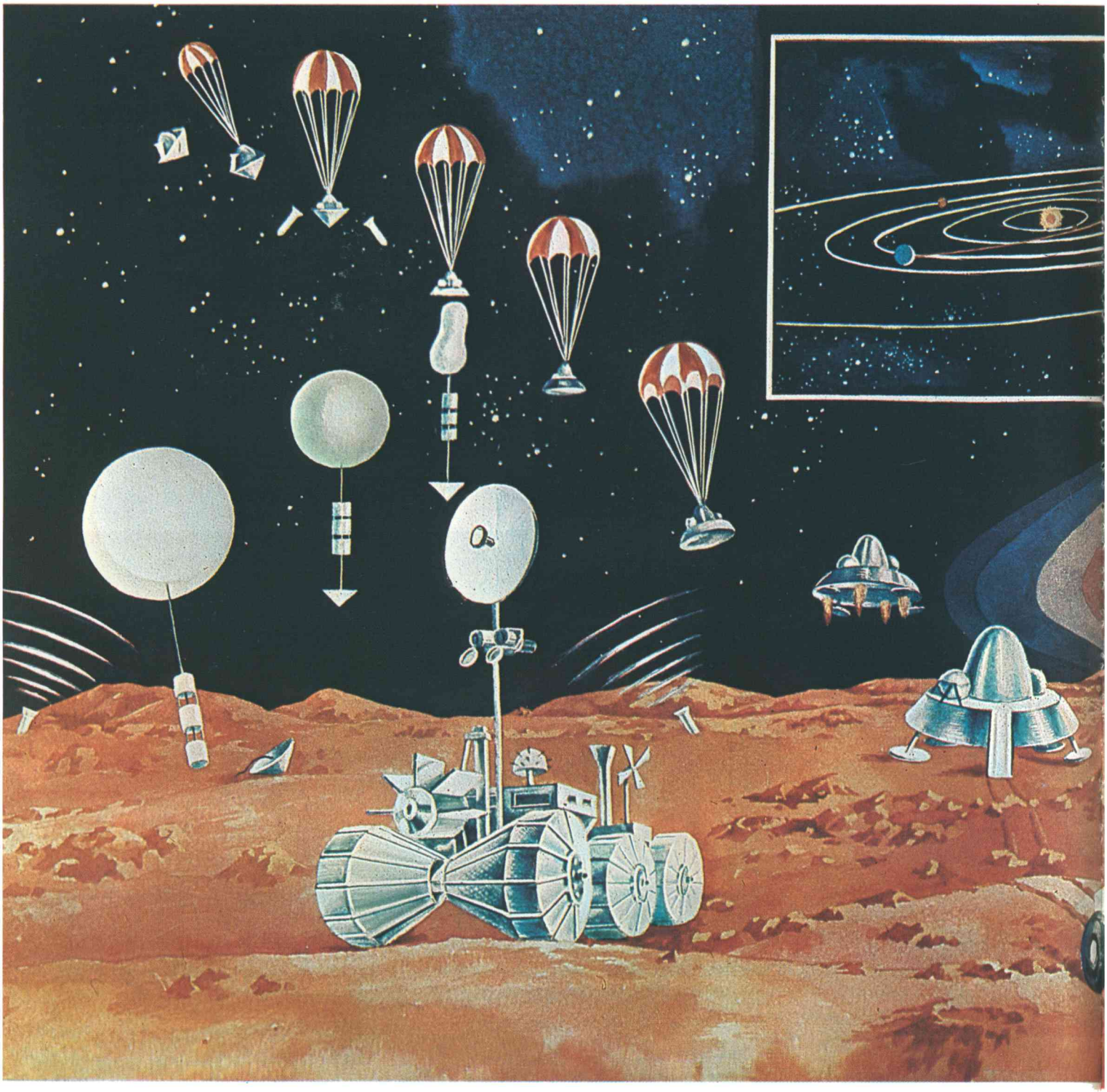




*ДАС на поверхности Фобоса*

*LAS on the Phobos surface*



*Один из вариантов перспективной программы исследований Марса до 2000 года*

*One of the versions of prospective Martian research program up to 2000*

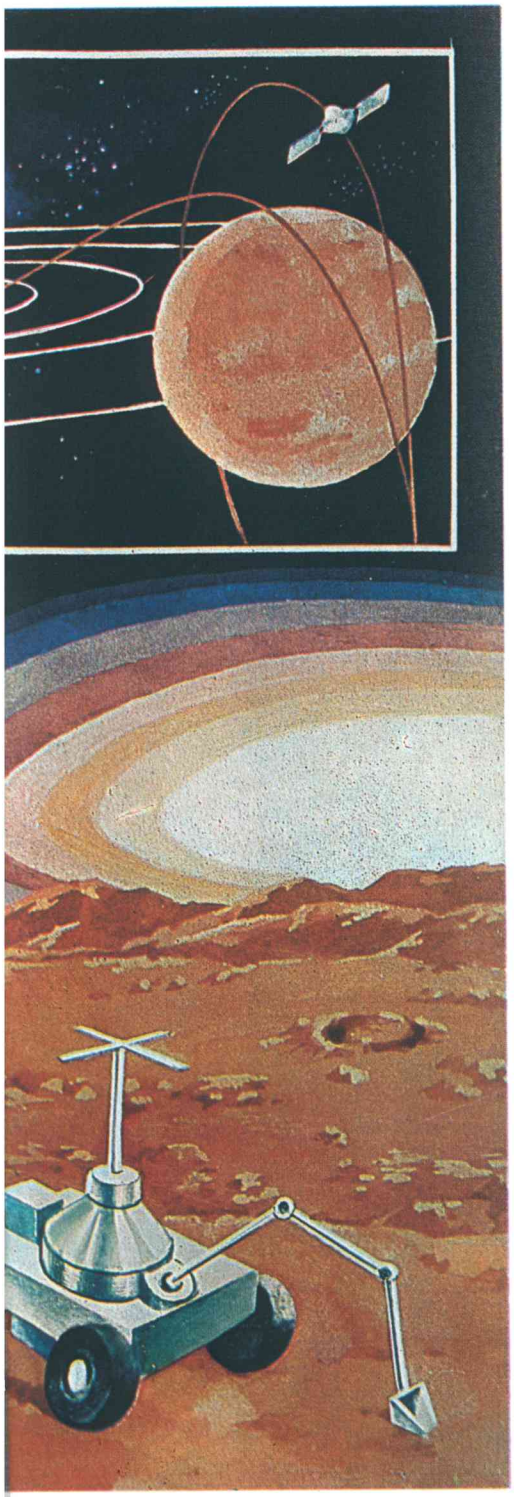
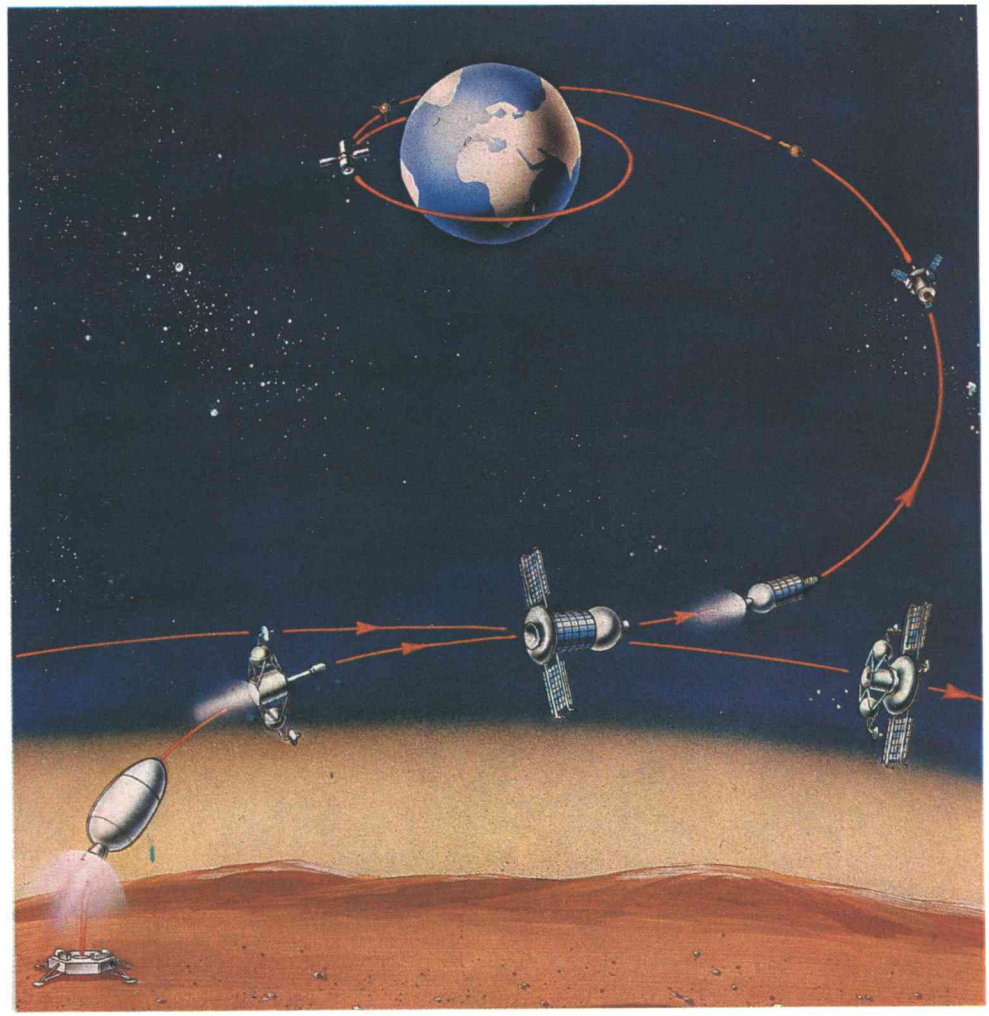
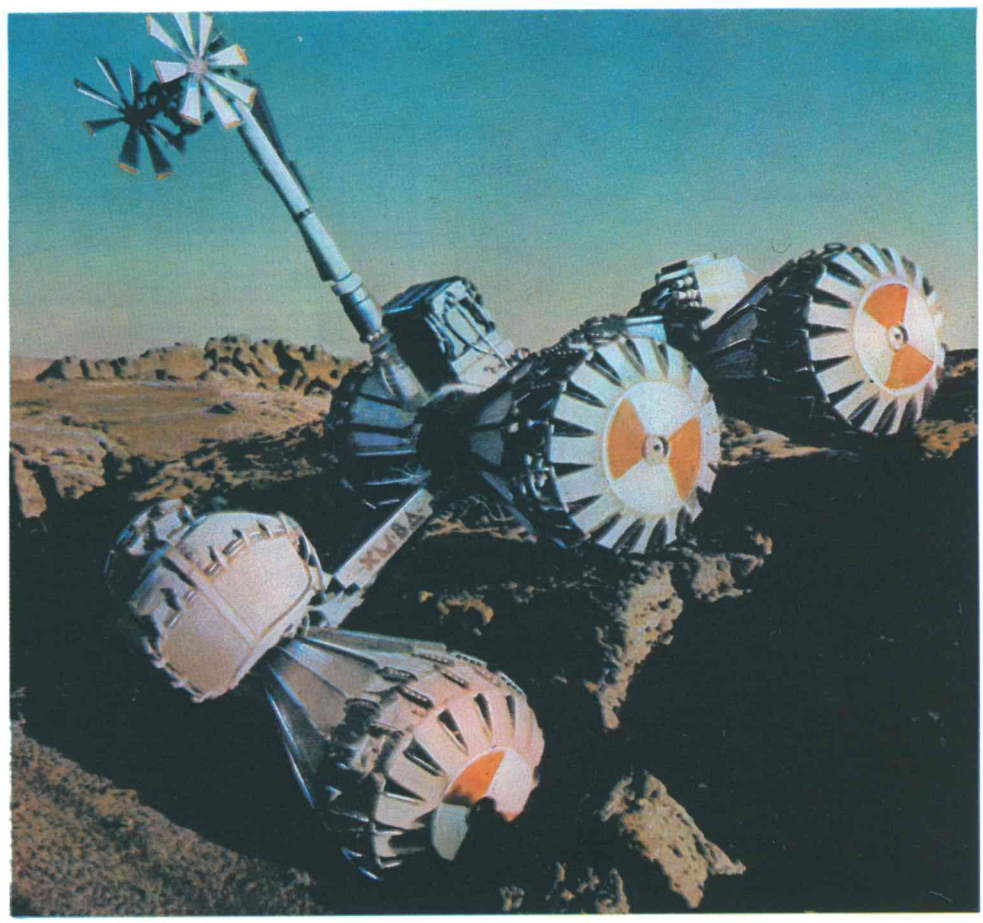


*Схема доставки образцов марсианского грунта на Землю*

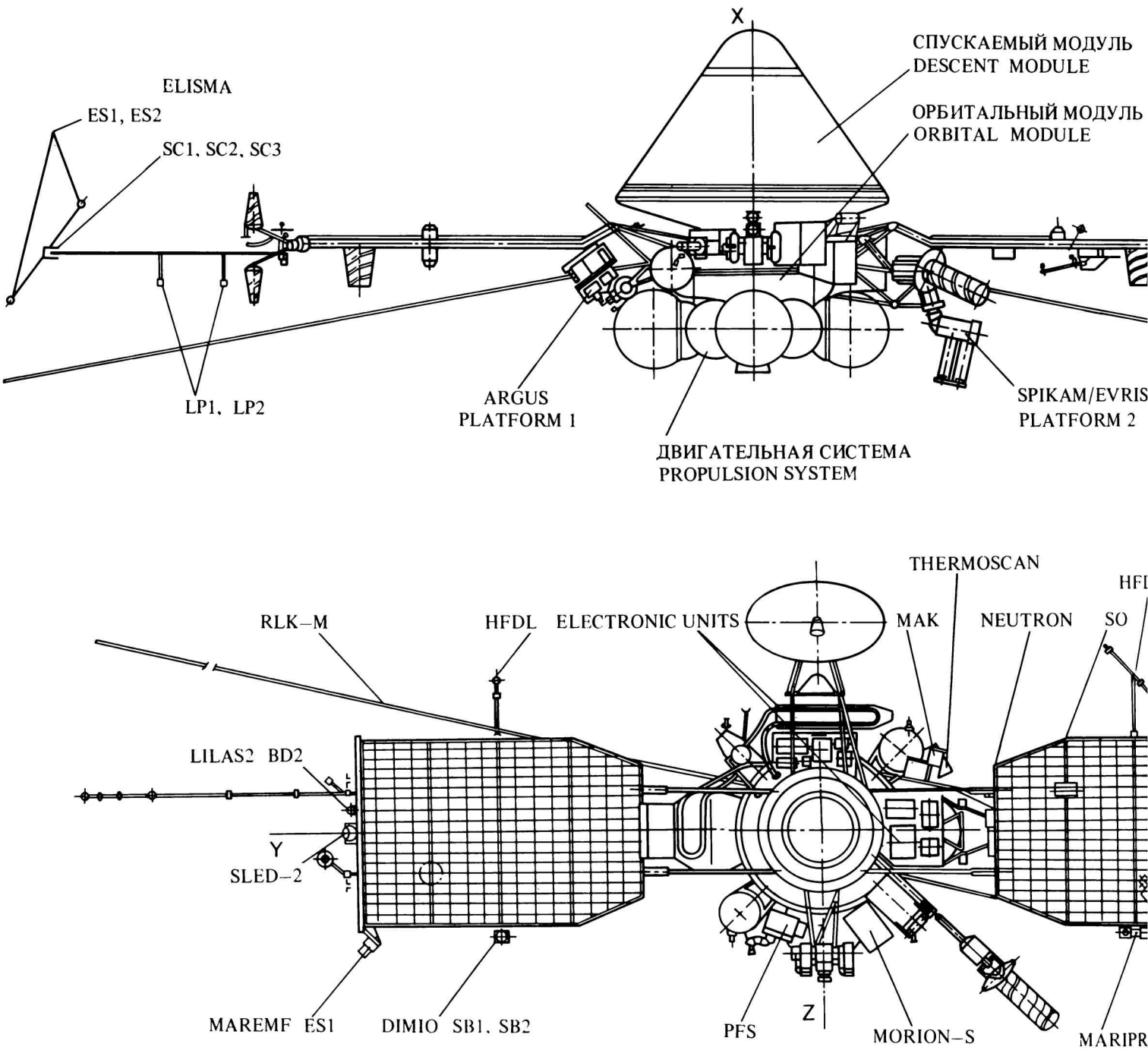
*A concept how to deliver Martian soil samples to the Earth*





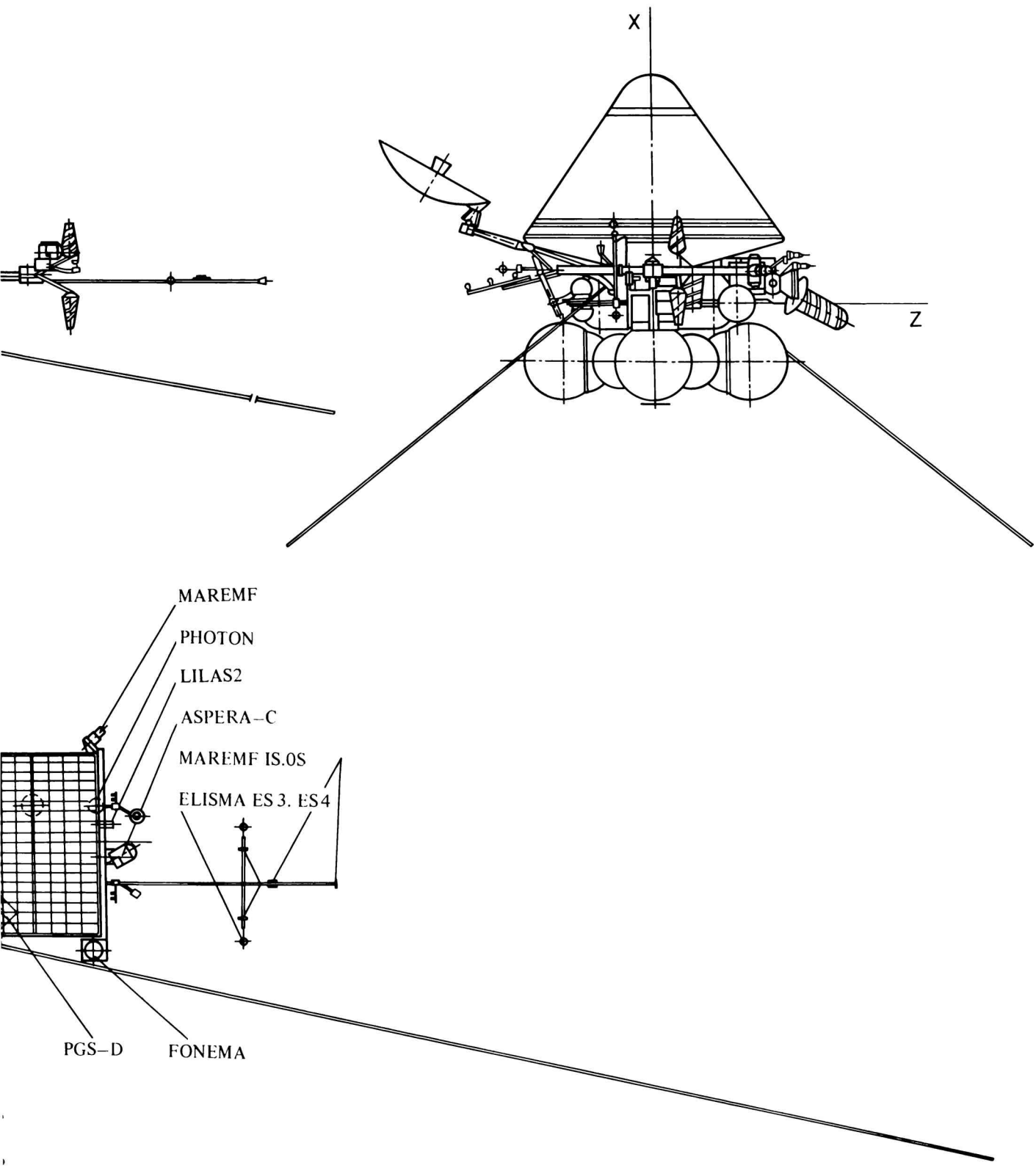
*Наземные испытания марсохода*

*Ground-based tests of Mars Rover*



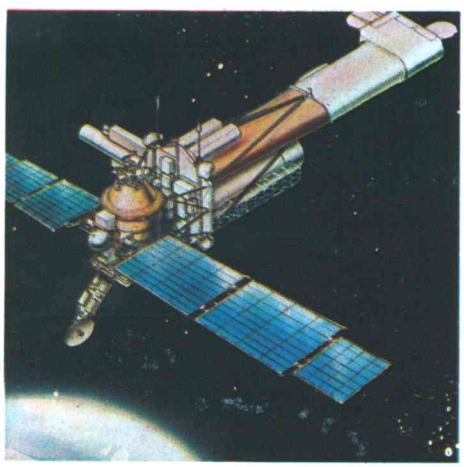

*Космический аппарат Марс-94.*
*Научное оборудование*
*орбитального модуля*

*Mars-94. Spacecraft. Scientific*
*equipment*
*of the orbital module*


X
Z
MAREMF
PHOTON
LILAS2
ASPERA–C
MAREMF IS.0S
ELISMA ES 3. ES4
PGS–D
FONEMA

# АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

# ASTROPHYSICAL RESEARCH



Научные астрономические приборы, вынесенные за пределы земной атмосферы, открыли новую эру в астрофизике. Возникли такие направления астрофизических исследований, как субмиллиметровая, ультрафиолетовая, рентгеновская и гамма-астрономия. Космические исследования во всех диапазонах излучения — одно из основных направлений деятельности Института.

Scientific astronomic instruments taken beyond the terrestrial atmosphere have ushered in a new era in astrophysics. There have sprung such new areas in astrophysical research as submillimetric, ultra-violet, X-ray and gamma-astronomy. Space research in all the ranges of radiation is one of the chief directions of the Institute's activities.

Одновременно ведутся и теоретические работы в области современной астрофизики: космологии, внегалактической астрономии, физики черных дыр, нейтронных звезд, квазаров, процессов образования звезд и планетных систем, их эволюции, эволюции галактик и их ядер и многих других фундаментальных проблем.

Развитие внеатмосферной астрономии шло по трем основным направлениям. Для астрономических наблюдений использовались телескопы, установленные на пилотируемых космических аппаратах: станциях «Салют» и кораблях «Союз». Астрономические приборы входили в состав комплексов аппаратуры автоматических многоцелевых аппаратов, например искусственных спутников Земли серий «Космос», «Прогноз», АМС «Венера». И, наконец, в последние годы для астрономических исследований стали создаваться специализированные космические аппараты. Первым из них стал спутник «Астрон». С помощью астрономических приборов, установленных на станциях «Салют», проводились наблюдения в ультрафиолетовом и гамма-диапазонах. На борту «Салюта-4» работал комплекс рентгеновских телескопов, в который входили зеркальный рентгеновский телескоп (диапазон энергий от 0,2 до 0,28 кэВ) и телескоп «Филин» со щелевыми коллиматорами (диапазон энергий от 0,2 до 10 кэВ). Зеркало телескопа скользящего падения имело фокусное расстояние 624 мм, диаметр входной апертуры 197 мм.

Во время двух экспедиций на орбитальной станции «Салют-4» с помощью телескопа «Филин» были проведены наблюдения многих рентгеновских источников — Лебедя X-1, Геркулеса X-1, Циркуля X-1, рентгеновской Новой A0620-00 и других. Были получены интересные сведения о свойствах этих объектов.

Новый диапазон длин волн был освоен на орбитальной станции «Салют-6», на которой был установлен большой субмиллиметровый телескоп с диаметром зеркала 1500 мм. Уже в ходе полета этой станции на ее борт был доставлен в виде отдельных блоков и узлов радиотелескоп КРТ-10 (космический радиотелескоп с 10-метровой антенной). Работы с телескопом начались с юстировки антенны и определения ее диаграммы направленности, а затем был выполнен цикл запланированных исследований. Они включали в себя наблюдения пульсара 0329+054 и обзор участка Млечного пути.

Широкая программа астрофизических экспериментов выполнялась и на орбитальной станции «Салют-7». Одним из главных исследовательских инструментов станции стал большой рентгеновский телескоп для наблюдений в диапазоне энергий от 2 до 30 кэВ с газовыми пропорциональными счетчиками общей площадью 3000 см$^2$. Поле зрения щелевых коллиматоров телескопа составляло 3×3°. За сеанс наблюдения длительностью 1000 с телескоп мог обнаружить источник с потоком энергии в несколько тысяч раз меньшим, чем излучаемый Крабовидной туманностью. Среди результатов выполненных исследований можно отметить обнаружение мощной вспышки рентгеновского излучения активной галактики NLC4151.

Еще один астрономический прибор, установленный на станции «Салют-7», — гамма-телескоп «Елена» — был предназначен для измерения фонового излучения конструкции космического аппарата. Полученные с его помощью данные важны для подготовки экспериментов с большими гамма-телескопами.

Обширная программа наблюдений всплесков космического гамма-излучения была выполнена с помощью приборов, установленных на автоматических межпланетных станциях серии «Венера» и спутниках «Прогноз». Целью этих экспериментов, в которых принимали участие и французские ученые, являлось определение точных координат гамма-всплесков методом измерения времени прихода сигнала на каждый из разнесенных в пространстве космических аппаратов (методом триангуляции). Для этого помимо «Венер» и «Прогноза» использовались также космические аппараты США и ФРГ. Координаты сотен гамма-всплесков были определены с точностью несколько угловых минут, а в одном случае до пяти угловых секунд.

Измерялись спектры гамма-всплесков, а также их временны́е профили. По результатам этого эксперимента опубликованы два каталога координат спектров и профилей гамма-всплесков. Сам всплеск, по-видимому, является результатом взрыва на поверхности нейтронной звезды.

Из других результатов внеатмосферных астрономических наблюдений следует отметить исследование спектра излучения межпланетной среды в ультрафиолетовом диапазоне, которое позволило обнаружить движение Солнечной системы относительно межзвездного газа и определить некоторые физические параметры околосолнечного пространства: плотность атомов водорода и гелия, их температуру и скорость движения относительно Солнца.

В экспериментах на спутниках «Прогноз» и станциях «Венера», в которых также принимали участие французские ученые, удалось получить обзор неба в линиях водорода (λ1216Å) и гелия (λ584Å) с угловым

разрешением два градуса. Применение оригинальной методики с использованием поглощающих водородных кювет дало возможность измерить ширину линии водорода, что, в свою очередь, позволило определить температуру межзвездных атомов водорода, пролетающих через Солнечную систему. Для интерпретации получаемых данных в Институте была разработана теоретическая модель движения Солнечной системы через межзвездную среду.

Создание космических аппаратов, специально предназначенных для проведения астрономических наблюдений, позволяет наиболее эффективно использовать сложные современные комплексы научной аппаратуры. На борту таких аппаратов может быть установлено одновременно несколько крупных телескопов, работающих в смежных диапазонах. Это обеспечивает получение более полной картины процессов, протекающих в космических источниках излучения. Кроме того, специализированные спутники-обсерватории дают возможность выполнять регулярные длительные наблюдения в течение нескольких лет.

Первый советский специализированный астрономический спутник «Астрон» был выведен на высокоапогейную орбиту в марте 1983 г. Он предназначался для астрофизических исследований в области далекого ультрафиолетового излучения и рентгеновского излучения средних энергий. В состав комплекса научной аппаратуры космической обсерватории вошел разработанный учеными и специалистами ИКИ АН СССР (совместно со смежными организациями) большой рентгеновский телескоп-спектрометр с площадью чувствительных детекторов около 2000 см$^2$. Точность наведения и стабилизации обсерватории при проведении рентгеновских наблюдений составляла 2—3′.

Если на орбитальной станции «Салют-7» время наблюдений одного источника составляло лишь секунды, то на «Астроне» — до трех часов. Это сделало возможным определить основные задачи эксперимента — получение спектров и детальное исследование одиночных источников рентгеновского излучения (в том числе 15 пульсаров, остатков сверхновых, компактных релятивистских объектов в тесных двойных системах, активных галактик и т. п.). Из полученных результатов можно отметить обнаружение эффекта «выключения» источника Геркулес X-1, определение верхних границ потоков от сверхновой, вспыхнувшей в галактике M83. Неоднократно проводились наблюдения «быстрого барстера», причем наблюдались импульсы различных длительности и формы. При этом был обнаружен новый тип всплесков. При покрытии «быстрого барстера» Луной удалось обнаружить идущий от него постоянный поток рентгеновского излучения. Спутник «Астрон» успешно работал на орбите более пяти с половиной лет.

Летом 1983 г. на высокоапогейную орбиту был выведен искусственный спутник Земли «Прогноз-9», предназначенный для астрофизических исследований. Основным прибором комплекса научной аппаратуры этого спутника являлся высокочувствительный радиометр «Реликт», предназначенный для исследований угловых флюктуаций яркости фонового «3-градусного» радиоизлучения на длине волны 8 мм.

Поиск флюктуаций температуры реликтового излучения в настоящее время приобрел характер фундаментального эксперимента, поскольку эти флюктуации несут в себе прямую информацию о важнейших этапах истории развития Вселенной, начиная с самой ранней, сверхплотной и горячей стадии ее эволюции вблизи космологической сингулярности и кончая современным моментом; о физических свойствах вещества, заполняющего Вселенную (включая и темное несветящееся вещество); о моменте образования гравитационно связанных объектов во Вселенной и свойствах этих объектов.

Первоначально наблюдения реликтового излучения проводились с поверхности Земли. При этом на качестве результатов сказывалось значительное поглощение и переизлучение микроволнового радиоизлучения атмосферой. В эксперименте «Реликт» впервые для изучения крупномасштабной анизотропии фонового излучения была применена орбитальная техника. «Чистое» время наблюдений составило полгода. К тому же удалось добиться очень высокой чувствительности телескопа — он мог различить две точки на небесной сфере с разницей температур, составляющей всего лишь десятитысячные доли градуса.

Впервые была получена радиояркостная карта большей части небесной сферы с угловым разрешением 5,8°, учтены параметры дипольной компоненты анизотропии. Для моделей со спектром академика Я. Б. Зельдовича для первичных флюктуаций плотности вещества был определен верхний предел на квадрупольную составляющую, который оказался существенно ниже порога, полученного зарубежными исследователями. Результаты эксперимента «Реликт» открыли новые возможности решения наиболее

интересных космологических проблем, связанных со структурой и эволюцией Вселенной, а также с образованием галактик.
31 марта 1987 г. в космос был запущен астрофизический модуль «Квант». После стыковки модуля с комплексом «Мир» на орбите стала работать новая космическая обсерватория «Рентген», позволяющая исследовать источники в широчайшем диапазоне энергий (2—1300 кэВ). В ее составе — четыре рентгеновских телескопа, предназначенных для решения принципиально новых задач астрофизики высоких энергий. Самый крупный из них — «Пульсар Х-1» — создан в ИКИ АН СССР совместно с учеными ряда других научных организаций страны. Телескоп имеет эффективную площадь детектирующих устройств в 6 раз большую, чем у американского рентгеновского спутника-обсерватории HEAO-3. Другой прибор — телескоп с теневой маской — создан совместно Утрехтской лабораторией космических исследований в Голландии и Бирмингемским университетом в Великобритании.
Еще один телескоп — спектрометр «Сирень-2» — был создан в отделе космической астрофизики Европейского космического агентства.
И, наконец, прибор западногерманских ученых «ГЕКСЕ», предназначенный для работы в области высоких энергий, был создан Институтом внеатмосферной физики общества им. Макса Планка и Тюбингенским университетом. Особенностью прибора является детектор типа «Фосвич».
С помощью обсерватории было проведено несколько тысяч наблюдений, в результате которых получены важные научные результаты.
Наибольший интерес, несомненно, представляют исследования сверхновой звезды, вспыхнувшей в конце февраля 1987 г. в Большом Магеллановом облаке. Светящаяся оболочка, образовавшаяся при взрыве звезды, сначала была настолько плотной, что «не выпускала» наружу потоки рентгеновского и гамма-излучения, которые теряли свою энергию, как бы «застревая» в ней. Но поскольку оболочка разлеталась во все стороны с колоссальной скоростью, она постепенно становилась все «прозрачнее». В результате 10 августа 1987 г. обсерваторией «Рентген» было зарегистрировано жесткое рентгеновское излучение. Излучение такой природы, имеющее аномально жесткий спектр, астрономы ранее никогда не наблюдали. Безусловно, это излучение явилось следствием радиоактивных распадов ядер кобальта, превращающихся в железо. Ядерное гамма-излучение испытывает в оболочке десятки и сотни рассеяний, уменьшает свою энергию и приходит к Земле в виде непрерывного рентгеновского потока с чрезвычайно жестким спектром. Поток излучения от Сверхновой медленно и неуклонно нарастал. Нарастание продолжалось даже тогда, когда 98% кобальта уже распалось. Это можно объяснить лишь быстрым «просветлением» оболочки.
Основной целью продолжавшихся затем наблюдений Сверхновой стал поиск рентгеновского пульсара — быстровращающейся замагниченной нейтронной звезды, родившейся в результате гибели голубого сверхгиганта в соседней галактике.
Следует отметить, что жесткое рентгеновское излучение, наблюдавшееся обсерваторией «Рентген», имело быстропеременный компонент с характерным временем изменения несколько дней. В то же время иная переменность наблюдалась в более мягком диапазоне японским спутником ГИНГА. Различное временно́е поведение излучения говорит о разной его природе в разных диапазонах энергий.
Среди других объектов наблюдений обсерватории «Рентген»: квазар 3С 273; рентгеновский пульсар Геркулес Х-1; известный «кандидат в черные дыры» Лебедь Х-1; источник, излучающий гамма-лучи сверхвысоких энергий, Лебедь Х-3; транзиентный источник Цефей Х-4 и многие другие объекты.
Еще одна орбитальная обсерватория — «Гранат» — была задумана как комплекс приборов для проведения детальных исследований в широком диапазоне энергий — от 3 до 2000 кэВ. Для сравнения, американская спутниковая обсерватория «Эйнштейн», которая дала массу «свежих новостей» (зачастую совершенно неожиданных), могла работать лишь в мягком диапазоне энергий — от 0,1 до 3 кэВ.
Основой приборного комплекса обсерватории «Гранат» являются телескопы АРТ-П и «Сигма».
Рентгеновский телескоп АРТ-П, разработанный учеными ИКИ АН СССР совместно с другими организациями, состоит из четырех идентичных модулей с параллельными оптическими осями. Каждый модуль имеет кодирующую маску и 16 повторяющихся мотивов (41 на 43 элемента), коллиматор с полем зрения 1,9 на 1,8°, позиционно-чувствительный детектор, блоки электроники.
Советско-французский телескоп «Сигма» с высокой чувствительностью дает возможность картографировать небесную сферу с высоким угловым разрешением в диапазоне энергий 50 кэВ — 2 МэВ. Система получения изображения включает в себя кодирующую маску, состоящую

из 29×53 элементов на основе псевдослучайной таблицы из 29×31 элементов, и позиционно-чувствительный детектор. Эффективная площадь детектора 800 см². Телескоп с полем зрения 4,2×4,25° позволяет строить изображение источников с угловым разрешением 16′ .
Предполагается, что за время эксперимента телескоп «Сигма» сможет наблюдать более 100 галактических и внегалактических источников.
Еще один рентгеновский телескоп — АРТ-С — состоит из двух пар устройств детектирования. Каждая пара благодаря качающемуся коллиматору наблюдает поочередно источник и фон. Энергетический диапазон телескопа 3—150 кэВ.
Особенности орбиты спутниковой обсерватории «Гранат» и емкая бортовая память обеспечивают возможность вести наблюдения в течение 24 ч. Это наряду с большой площадью детекторов делает обсерваторию рекордной по чувствительности.
«Гранат» — крупнейший целенаправленный проект по исследованию гамма-всплесков. Главной особенностью эксперимента является установка аппаратуры на поворотной платформе. Это дает возможность в считанные секунды наводить приборы на источник гамма-всплеска, позволяя получать его детальные спектры и прослеживать развитие события во времени. Использование детекторов с узкими полями зрения и совмещенными оптическими осями обеспечивает точную (до угловых минут) локализацию источников гамма-всплесков.
Большие надежды в решении перспективных задач внеатмосферной астрономии ученые связывают с запланированным на начало 90-х гг. проектом «Спектр-Рентген-Гамма».
Реализация проекта позволит сделать значительный шаг вперед в понимании свойств различных классов астрономических объектов, определении природы многих, пока не до конца понятных, физических явлений, наблюдаемых во Вселенной.
Приборы новой орбитальной обсерватории должны позволить получить уникальную информацию о галактических источниках рентгеновского излучения (черных дырах и нейтронных звездах в двойных звездных системах, остатках вспышек сверхновых, горячем межзвездном газе), сверхмассивных черных дырах (они в миллионы или даже в миллиарды раз массивнее Солнца) в ядрах активных галактик, межгалактическом газе в скоплениях галактик, рентгеновском излучении нормальных галактик. Огромная площадь собирающих зеркал, установленных на борту обсерватории рентгеновских телескопов, широчайший энергетический диапазон, способность строить рентгеновские изображения с высоким разрешением, проводить рентгеновскую спектроскопию открывают уникальные возможности использования обсерватории для решения космологических проблем.
Можно будет вести поиски самых удаленных рентгеновских квазаров — этих исключительно ярких образований, излучение каждого из которых не уступает излучению целой галактики из сотен миллиардов звезд. Яркость рентгеновского излучения одного из таких квазаров (0X-169) всего за три часа изменяется в два раза. Выходит, что он по своим размерам не больше Солнечной системы, даже примерно вполовину меньше. Самая тяжелая черная дыра подобных размеров имела бы массу около 200 миллионов солнц. Откуда же тогда чудовищный выход энергии у квазаров?
Обсерватории будут доступны сотни тысяч сверхслабых рентгеновских источников, находящихся у границы наблюдаемой Вселенной. Детальное их изучение позволит пролить дополнительный свет на проблему диффузного рентгеновского фона.
Дело в том, что небо в рентгеновском диапазоне не выглядит темным. Существует фоновое, «размазанное» излучение, сравнимое с излучением дискретных источников. Предполагается, что это — излучение очень разреженного горячего межгалактического газа, заполняющего все пространство. Если это так, то по величине диффузного фона можно судить о средней плотности Вселенной и, следовательно, о том, каков наш мир — «замкнутый» или «разомкнутый», сменится ли когда-либо наблюдаемое расширение Вселенной сжатием. Или оно будет продолжаться бесконечно ...
Но, может быть, фон — это слившиеся воедино очень далекие и по отдельности пока не различимые точечные источники? Наподобие того, как свет далеких звезд сливается в мягкое сияние Млечного пути ...
Поэтому телескопы обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» будут направлены и на «пустые» области неба, где присутствует только фон, с тем чтобы проводить подсчеты сверхслабых рентгеновских источников.
Важной задачей проекта станет и исследование транзиентных (пропадающих) рентгеновских источников и гамма-всплесков. Широкий энергетический диапазон, высокие чувствительность, спектральное и угловое разрешение приборов орбитальной обсерватории выдвигают «Спектр-Рентген-Гамма» в ряд наиболее интересных научных космических проектов первой половины 90-х гг. В рамках сложившейся международной кооперации в проведении

астрофизических исследований с борта космических аппаратов этот проект станет, с одной стороны, важным дополнением к планируемому запуску обсерватории ROSAT (ФРГ — Англия), с другой — необходимым логическим звеном при переходе от проектов 80-х гг. к чрезвычайно дорогостоящим проектам конца 90-х гг. — XMM (Европейского космического агентства), АХАФ (Национального управления по аэронавтике США). Проект XMM, например, предусматривает установку на борту космического аппарата четырех рентгеновских телескопов «косого падения» — ведь рентгеновские лучи нельзя сфокусировать, как свет, в оптических телескопах, поэтому их постепенно «сводят» с помощью вложенных друг в друга колец — зеркал. Каждый из телескопов будет состоять из 50 зеркал и иметь фокусное расстояние 7,5 м.

Одним из основных инструментов обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» станет советско-датский телескоп-концентратор XSPEST (устанавливается вдоль главной оси обсерватории), в котором используется рентгеновская оптика косого падения по схеме конус-конус. Суммарная площадь поверхности рентгеновских зеркал двух идентичных телескопов составит 130 м$^2$.

Чувствительность телескопа в 20 раз превысит чувствительность аппаратуры, которая была установлена на американском спутнике «Эйнштейн».

Телескопы планируется выводить в космос в сложенном состоянии и затем раскрывать их на орбите. Фокальное расстояние телескопов составит 8 м и его можно будет изменять. Угловое разрешение 2′ .

Разработка и изготовление оптической структуры телескопа, включая механизм раскрытия, будут выполняться советскими специалистами. Советской стороной проводятся и все расчеты тепловых и механических характеристик телескопа, а также его испытания на соответствие условиям эксплуатации на борту космического аппарата. В создании телескопа намерены принять участие также специалисты США, Финляндии и ряда других стран. Так, в Чехо-Словакии разрабатывается система смены и точного наведения фокальных детекторов телескопа.

Еще один телескоп косого падения JET-X (также устанавливается вдоль главной оси) предназначен для точной локализации, спектроскопии и построения изображения слабых рентгеновских источников с разрешением 10″. В состав телескопа войдет оптический монитор с зеркалом диаметром 30 см и устройством с так называемой обратной зарядовой связью. Это кремниевый микрокристалл, поверхность которого содержит сотни тысяч датчиков. Свет, собираемый и усиливаемый зеркалом, падает на них и преобразуется в электрические сигналы, пропорциональные его интенсивности в этой части изображения. Фотопластинки, которые всегда были «стандартным приложением» к наземным астрономическим камерам, регистрировали только семь из каждой тысячи световых квантов. Прибор с зарядовой связью регистрирует 700 из каждой тысячи квантов. Оптическому монитору будут доступны тысячи звезд на каждой площадке наблюдения вплоть до звезд 20-й и даже 21-й величины. Это может облегчить оптическую идентификацию рентгеновских объектов и позволит синхронно исследовать их переменность в рентгеновском и оптическом диапазонах.

Над созданием телескопа JET-X совместно работают специалисты Англии, Италии, СССР, ФРГ и Европейского космического агентства.

Эти два главных инструмента обсерватории дополняют друг друга: советско-датский телескоп благодаря огромной собирающей площади зеркал сможет проводить детальную спектроскопию сравнительно слабых источников, а телескоп JET-X, имеющий высокое угловое разрешение, должен дать рекордные результаты при длительных глубоких обзорах неба и при наблюдениях сверхслабых объектов. Главные задачи этих инструментов связаны с внегалактической астрономией и космологией.

Вдоль главной оси обсерватории устанавливается и создаваемый советскими учеными телескоп с кодирующей маской (МАРТ), предназначенный для построения изображений и спектроскопии источников в жестком рентгеновском диапазоне. Его угловое разрешение — 7″.

В кооперации специалистов СССР, Германии и Англии разрабатывается телескоп нормального падения EUVITA для наблюдения источников в диапазоне предельного (экстремального) ультрафиолетового излучения и исследований однородности межзвездной среды. Два идентичных телескопа устанавливаются вдоль главной оси обсерватории, два — на поворотной платформе. Угловое разрешение телескопа — 10″.

На поворотной платформе планируется также разместить еще один советский телескоп с кодирующей маской АРТ-СП для построения изображения и спектроскопии ярких рентгеновских источников, исследования протяженных рентгеновских источников (пространственное разрешение телескопа 7″) и чехословацкий телескоп косого падения (ГИТА) для наблюдения ярких источников в стандартном рентгеновском диапазоне (угловое разрешение 20″).

Для определения координат поворотной платформы в Болгарии изготавливается

звездный датчик, который одновременно будет использоваться для оптических наблюдений рентгеновских источников.
Анализ и спектроскопия гамма-всплесков космического происхождения будут выполняться советским прибором космических гамма-всплесков СПИН.
Обсерваторию «Спектр-Рентген-Гамма» планируется вывести на сильно вытянутую орбиту с начальными высотами в перигее 500—1000 км и в апогее 200 тыс. км.
Продолжительность рабочего участка орбиты при этом составит 3—4 суток. В течение года космический аппарат будет лишь дважды входить в тень Земли не более чем на 3 ч.
В связи со значительным ожидаемым объемом научной информации и необходимостью проведения длительных исследований основным режимом работы приборов станут автономные наблюдения с регистрацией информации в собственных запоминающих устройствах. В очередном сеансе связи накопленная информация будет передаваться на Землю высокоинформативным радиокомплексом. Средняя продолжительность сеанса наблюдений в таком режиме составит одни сутки. Число сеансов в год — 200—250.
В течение рабочего цикла аппарат сможет наблюдать всю небесную сферу. В каждом отдельном сеансе космический аппарат может автоматически по заданной программе перестраиваться на разные интересующие ученых источники.
Планируется, что орбитальная обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма» будет давать несколько миллиардов единиц информации ежедневно. Эту информацию не сможет обработать полностью ни один из вычислительных центров, ни одна из научных групп. Выход из положения — в принятии системы конкурсных заявок на наблюдения. Это откроет доступ к участию в проекте всем обсерваториям, институтам и университетам страны. По условиям соглашений о сотрудничестве Советский Союз получит значительную часть наблюдательного времени каждого из приборов обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма», и это время будет распределено между различными группами астрономов и физиков на конкурсной основе, как это имело место для обсерватории «Эйнштейн» (США), спутников IUE и EXOSAT (Европейское космическое агентство), как это планируется для космического телескопа имени Хаббла.
Новый этап в развитии гамма-астрономии ученые связывают с введением в эксплуатацию самого крупного в мире гамма-телескопа — «Гамма-1», предназначенного для внеатмосферных наблюдений в диапазоне энергий 50—5000 МэВ. Вместе с советскими учеными в его создании принимали участие французские специалисты. В состав космической обсерватории входят также телескоп мягкого гамма-излучения и рентгеновский телескоп-спектрометр. Польские специалисты изготовили для обсерватории звездный датчик «Телезвезда».
Включение гамма-диапазона в круг астрономических наблюдений, несомненно, привело к новому качественному скачку в познании окружающего мира.
Одно из отличий гамма-диапазона от других частей спектра — большая энергия гамма-квантов. А это позволяет исследовать взаимодействия с большим выделением энергии в каждом элементарном процессе. Такие процессы, по-видимому, лежат в основе «жизнедеятельности» звезд и ядер галактик, происходят при звездных вспышках и во время взрывов галактических ядер.
Гамма-астрономия дает, таким образом, возможность заглянуть в мир самых высоких энергий, «увидеть» и изучить процессы, которые управляют миром звезд и галактик и в конечном счете определяют развитие Вселенной.
Другая примечательная особенность гамма-излучения — его высокая проникающая способность. Оно не подвержено влиянию электромагнитных полей и распространяется практически прямолинейно.
Поглощение по всем направлениям в среднем не превышает долей процента. Метагалактика прозрачна для такого излучения. Поглощение гамма-квантов становится существенным лишь для очень удаленных частей Вселенной, где средняя плотность вещества больше.
В гамма-лучах должны быть «видны» и такие особые районы Галактики, как, например, ее центр, скрытый облаками пыли и газа, окружающими галактическое ядро, и потому невидимое в оптических лучах.
Высокая проникающая способность регистрируемого гамма-излучения позволяет исследовать межзвездную и межгалактическую среду, в том числе распределение вещества, не проявляющего себя в других диапазонах длин волн; получать информацию о ядерной и электронной компонентах космических лучей высоких энергий; изучать процессы, происходящие в релятивистских астрономических объектах, а также процессы нуклеосинтеза при взрывах звезд; вести поиски антивещества во Вселенной.
В телескопе «Гамма-1» в отличие от ранее устанавливавшихся на космических аппаратах применена широкозазорная искровая камера. В отсеках такой камеры искра движется вдоль следа частицы, если ее траектория отклонена от вертикали более чем на 20°. Это улучшает пространственную

точность определения координат источника излучения, уменьшает число ложных пробоев, искажающих картину наблюдения.
Треки заряженных частиц, проявившиеся в виде искр в зазорах искровых камер, фиксируются двумя измерительными телевизионными камерами, просматривающими через плоские зеркала зазоры искровых камер с двух перпендикулярных направлений. Телевизионная система измеряет координаты искр с разрешением 0,15 мм на трех уровнях по высоте каждого из зазоров и передает эти данные в телеметрическую систему.
При наземной обработке полученных телеметрических данных осуществляется второй этап распознавания гамма-событий и определяются направление пролета, координаты точки конверсии гамма-кванта и его энергия. Распознавание производится по характерным для гамма-кванта высокой энергии признакам «картинки» в 12-зазорной искровой камере: в верхних зазорах искры отсутствуют, а после одного из электродов наблюдаются треки заряженных частиц. При этом наблюдение расходящейся из точки конверсии «вилки» электрон-позитронной пары является наиболее достоверным признаком регистрации гамма-кванта.
Направление прилета гамма-кванта определяется по направлению биссектрисы угла движения рожденной им пары частиц, а его энергия — по многократному рассеянию электронов и позитронов в электродах искровых камер и по числу частиц в электронно-фотонном каскаде, развившемся в слоистой (свинец — сцинтиллятор) структуре сцинтилляционного калориметра.
Время активного существования космической лаборатории на орбите должно быть не менее года. Большой набор технологических и калибровочных данных позволяет следить за состоянием систем телескопа в процессе эксперимента. С помощью 98 телекоманд может изменяться логика отбора событий и состав работающих блоков электроники, что обеспечивает высокую жизнедеятельность прибора.
Значительных успехов, особенно в последние годы, достигла и радиоастрономия. По грубым оценкам, она дает сегодня примерно половину экспериментальных данных о «тайнах неба». Во многом именно благодаря этим данным совершается подлинная революция в изучении Вселенной. Астрофизики рассчитывают с помощью радиоастрономии «увидеть» и понять, когда и как образовались первые галактики, первые звезды и первые планетные системы; что собой представляют квазары и ядра галактик, связаны ли они с большими черными дырами; каковы вообще основные свойства окружающего пространства, его средняя плотность, эволюция, начиная от момента Большого взрыва. Наконец, не менее интересно определить, есть ли другие пространства, существенно отличающиеся по своим закономерностям от нашего, увидеть и исследовать другие планетные системы, определить вероятность возникновения жизни в различных районах Вселенной и попытаться обнаружить другие внеземные цивилизации.
Радиометоды дают возможность исследовать объекты, от которых до Земли из-за большого их удаления доходит предельно малое количество энергии и которые имеют настолько низкую температуру, что их излучение приходится только на радиодиапазон. Однако из-за большой длины радиоволн разрешающая способность радиотелескопов не превышает возможностей невооруженного глаза. Выход был найден в исследовании излучения космических объектов методом анализа интерференционной картины, создаваемой двумя и более радиотелескопами, с записью информации на магнитных лентах, которые затем обрабатываются на ЭВМ с использованием сведений о текущей геометрии интерферометра и координат радиоисточника. Такая система оказалась эквивалентной радиотелескопу с диаметром антенны, равным расстоянию между телескопами.
Уже длительное время учеными ИКИ АН СССР ведутся интерферометрические радионаблюдения ядер внегалактических объектов и районов звездообразования в Галактике. В этих наблюдениях реализуется наибольшая разрешающая способность по сравнению с другими методами исследований во всех диапазонах электромагнитного спектра (до 0,0004″ на волне 1,35 см). В экспериментах участвуют радиообсерватории СССР, США, Австралии, ФРГ, Швеции. Создан интерферометр с базой Евпатория — Симеиз — Пущино.
В ИКИ АН СССР впервые были исследованы уникальные возможности перспективных внеатмосферных астрономических наблюдений, связанные с созданием крупных радиотелескопов в космосе и разнесением их на расстояния, намного превышающие диаметр Земли. Это позволит на много порядков увеличить их чувствительность и угловое разрешение. Первый шаг в этом направлении был сделан в 1979 г., когда по инициативе и с участием Института на станции «Салют-6» был развернут космический радиотелескоп с антенной диаметром 10 м (КРТ-10).
Ведется разработка новых инструментов. Один из ближайших проектов, над

которым работают ученые, представляет собой долговременную программу исследований в космосе, включающую серию экспериментов по созданию наземно-космических радиоастрономических комплексов. В середине 90-х годов планируется осуществить первый этап проекта — реализовать наземно-космический радиоинтерферометр сантиметрового диапазона радиоволн («Радиоастрон-СМ»). Радиоинтерферометр будет состоять из космического радиотелескопа диаметром 10 м, работающего в четырех диапазонах длин волн: 92; 18; 6 и 1,35 см и международной сети наземных радиотелескопов. Космический радиотелескоп устанавливается на борту автоматического аппарата «Спектр», движущегося по орбите искусственного спутника Земли с периодом обращения одни сутки и наибольшим удалением от Земли 70 тыс. км. По разрешающей способности такая система будет эквивалентна гигантскому радиотелескопу с диаметром антенны несколько десятков тысяч километров.
Наземно-космический радиоинтерферометр «Радиоастрон-СМ» предназначен для исследований с высоким угловым разрешением структуры мощных компактных источников радиоизлучения: ядер активных галактик и квазаров; галактических релятивистских объектов (пульсаров, окрестностей черных дыр), космических мазеров в областях образования звезд и планетных систем, центра нашей Галактики.
Разработка проекта «Радиоастрон» была начата в ИКИ, а с середины 1990 г. продолжается в Физическом институте АН СССР.
Можно ожидать, что после «Радиоастрона» в космосе появятся целые системы из многих радиотелескопов, позволяющие исследовать астрономические объекты, получать детальные их изображения, определять координаты с очень высокой точностью. Появится возможность прямыми методами измерять расстояния до удаленных объектов, изучать их движение. Создание таких систем, видимо, станет возможным уже в начале следующего века.
Большой интерес представляет и продолжение исследований крупномасштабной анизотропии реликтового излучения, начатых в эксперименте «Реликт-1» на борту спутника «Прогноз-9». Ученые ИКИ АН СССР готовят новый проект — «Реликт-2», существенной особенностью которого станет охлаждение приемника излучения и антенны, что позволит повысить чувствительность аппаратуры еще в 3—4 раза по сравнению с достигнутой в проекте «Реликт-1». Устройство охлаждения представляет собой трехступенчатый излучающий радиометр с температурами ступеней 250, 150 и 100 К. Космический аппарат планируется вывести в окрестности точки либрации $L_2$. В проекте предполагается исследовать крупномасштабные и частично среднемасштабные флюктуации реликтового излучения.
В эксперименте «Аэлита», планируемом на середину 90-х годов, охлаждение аппаратуры будет обеспечиваться уже не радиационным способом, а специальной криогенной системой — жидким неоном и сверхтекучим гелием, а для глубокоохлаждаемых болометров — циклически работающим адсорбционным криогенным рефрижератором. Чувствительность аппаратуры при этом достигает примерно $10^{-5}$ К. Ожидаемое время работы криогенной системы, согласно расчетам, 3—4 года. На спутнике будут установлены телескоп диаметром 1 м (разрабатывается вариант телескопа диаметром 3 м) с фокальными приборами диапазона 2 мм — 300 мкм, а также небольшие телескопы миллиметровых волн.
Помимо исследования реликтового излучения такому аппаратурному комплексу будут доступны и астрофизические наблюдения многих дискретных источников излучений в практически неисследованных субмиллиметровом и коротковолновом миллиметровом диапазонах. В частности, пылевое вещество галактик излучает, главным образом, на субмиллиметровых волнах. Различия между радиояркими и радиоспокойными квазарами также следует искать в этом диапазоне.
Вместе с советскими учеными в этом проекте принимают участие их коллеги из Италии.

At the same time other theoretical studies are also performed in the field of contemporary astrophysics such as cosmology, physics of black holes, extra-galaxy astronomy, neutron stars, quasars, processes of formation of stars and planetary systems, their evolution, evolution of galaxies and their nuclei and a lot of other important problems.
Research and development of extra-atmospheric astronomy had been performed on three basic trends. Telescopes mounted on manned spacecraft — stations *Salyut* and spaceships *Soyuz* — were used for astronomic observations. Astronomic devices were part of the sets of instrumentation of automatically piloted multi-purpose spaceships such as earth artificial satellites (sputniks) of the series *Cosmos, Prognoz,* AMS *Venera.* And then in recent years specialized spaceships have started to be developed for astronomic studies. The first of them was

the *Astron* satellite.
By means of astronomic devices mounted on board the *Salyut* station observations were carried out in the ultra-violet and gamma ranges. On board *Salyut* 4 a set of X-ray telescopes was employed that included a mirror X-ray telescope (range of energies from 0.2 to 0.28 keV) and telescope *Filin* with slot collimators (range of energies from 0.2 to 10 keV). The grazing-incidence telescope had a focal distance of 624 mm, and a diameter of the input aperture of 197 mm.
During two expeditions on board the *Salyut* 4 orbit station with the aid of the telescope *Filin* surveys of many X-ray sources such as Cygnus X-1, Hercules X-1, Circinus X-1, X-ray Nova A0620-00 and others were conducted. Interesting information was obtained about their properties.
A new range of wavelengths had been studied on the *Salyut 6* orbit station where a submillimeter telescope with a mirror of a 1500 mm diameter had been installed. During the flight of that station a SRT-10 (space radio telescope with a 10-meter aerial) radio telescope was delivered to the station in the form of separate blocks and joints. The work with the telescope started with adjustment of the aerial and determination of its directional pattern, and then a series of planned investigations was carried out. They included also observations of Pulsar 0329+054 and a survey of a part of the Mulky Way (Galaxy).
An extensive programme of astrophysical experiments was carried out on board the *Salyut* 7 orbital station. One of the chief research instruments of the station was a large X-ray telescope for surveys in the range of energies of 2 to 30 keV with gas proportional meters of a total square area of 3000 $cm^2$. The field of vision of slot collimators of the telescope was $3\times3°$. For a seance of observations of 1000 s duration the telescope was able to detect a source with an energy flux a few thousand times less than that emitted by the Crab nebula. The detection of a powerful burst of X-ray radiation of active Galaxy NLC4151 is among the results of the investigations carried out.
Another astronomic device installed on board the *Salyut* 7 station — gamma-telescope *Helena* — was intended to measure background radiation of the spacecraft structure. The data it helped obtain are important for arranging experiments with large gamma telescopes.
A profound programme of observations of bursts of space gamma radiation was conducted by means of devices mounted on automatic interplanetary stations of the *Venera* series and *Prognoz* satellites. The goal of the experiments in which French research workers also collaborated, was to determine the exact coordinates of gamma-bursts by the method of measuring the time of the signal entering each of the spaceships being at a distance in space (the method of triangulation). For that purpose besides *Venera* and *Prognoz* spaceships the USA and FRG spaceships were used either. Co-ordinates of hundreds of gamma bursts were determined with a precision of a few angular minutes, and in one case to five seconds of arc. Spectra of gamma bursts as well as their time profiles were measured. Basing on the results of that experiment two catalogues of co-ordinates of spectra and profiles of gamma-bursts were issued. The splash itself is, apparently, a result of an explosion on the neutron star surface.
Among other results of extraatmospheric astronomic surveys it is worth noting the investigation of the radiation spectrum of the interplanetary medium in the ultraviolet range which made it possible to detect the motion of the Solar system with regard to interstellar gas and to determine some physical parameters of the near-the-Sun space: density of hydrogen and helium atoms, their temperature and speed of movement as regards the Sun.
The experiments on board the *Prognoz* satellites and the *Venera* stations in which French research workers participated either have yielded a survey of the sky in lines of hydrogen ($\lambda$1216Å) and helium ($\lambda$584Å) with an angular resolution of two degrees. The utilization of an original procedure with application of absorbing hydrogen vessels provided an opportunity to measure the width of the hydrogen line which, in its turn, made it feasible to find temperatures of interstellar atoms of hydrogen flying through the Solar system. To interprete the data obtained a theoretical model of motion of the Solar system through the interstellar medium has been developed at the Institute.
Creation of spaceships specially intended to carry out space surveys makes it possible to effectively use complicated modern sets of scientific instrumentation. Several large telescopes working in adjacent ranges can be installed simultaneously on board such ships. This provides for a more complete picture of processes occurring in space radiation sources. Besides, specialized observatories-satellites provide an opportunity to fulfil regular long-term surveys during a few years.
The first Soviet specialized astronomic satellites *Astron* was injected into a high-apogee orbit in March, 1983. It was intended to conduct astrophysical studies in the domain of distant ultra-violet and X-ray radiation of medium energies. The set of scientific instrumentation of the space observatory included a large X-ray telescope-spectrometer

with sensitive detectors of around 2000 $cm^2$ in area developed by scholars and research workers of the Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences (jointly with other institutions). Precision of guidance and stabilization of the observatory in carrying out X-ray observations was 2—3′. If at the orbital station *Salyut* 7 observations could be conducted during seconds only, at the *Astron* it could be performed during almost 3 hours. That made it possible to define the basic goals of the experiment—the obtaining of spectra and detailed investigation of individual sources of X-ray radiation (15 pulsars, remnants of Super Nova compact relativistic objects in close binary systems, active galaxies, etc. included). Among the results obtained it is worth noting the discovery of the effect of "switching off" of the source Hercules X-1, ascertainment of the upper boundaries of fluxes from the Super Nova in galaxy M83. Observations of a "rapid burster" were conducted repeatedly and impulses of various duration and shape were observed. A new type of splashes was discovered. When a "rapid burster" was covered with the Moon there was discovered a constant flow of X-ray radiation coming off it. The *Astron* satellite had been working successfully in orbit for more than five and a half years.

In the summer of 1983 an artificial earth satellite *Prognoz* 9 was injected into a high-apogee orbit. It was intended for astrophysical investigations. The main device of the scientific instrumentation set of the satellite was a highly sensitive radiometer *Relict* intended for studying angular fluctuations of brightness of the background "3-degree" radio-radiation at a wavelenght of 8 mm.

Nowadays search for fluctuations of temperatures of relict radiation turned into a type of fundamental experiment, since such fluctuations carry direct information about the most important history stages of the development of the Universe beginning from the earliest super-dense and hot stage of its evolution near the cosmological singularity and finishing with the present moment; about physical properties of the substance filling the Universe (the dark non-fluorescent substance included); about the moment of formation of gravitationally linked objects in the Universe and properties of those objects. Observations of relict radiation were carried out initially from the Earth's surface. The quality of the results was influenced by essential absorption and overradiation of a microwave radio radiation of the atmosphere. In the *Relict* experiment orbital technique was first used to study large-scale anisotropy of background radiation. The "pure" time of observations was half a year. Besides they managed to achieve very high sensitivity of the telescope—it could distinguish two points on the celestial sphere with a difference of temperatures of merely ten thousandth fractions of degree. A radio brightness map of the most part of the celestial sphere with an angular resolution of 5.8° was developed, parameters of these dipole component of the anisotropy were taken into account. For models with Academician Ya. B. Zeldovich's spectrum for first density fluctuations of the substance the upper limit of the quadrupole component was ascertained which appeared to be much lower than the threshold determined by foreign researchers.

The results of the *Relict* experiment opened up new vistas in tackling the most interesting cosmological problems related to the structure and evolution of the Universe and to the formation of galaxies as well.

On March 31, 1987 the *Kvant* module was launched into space. After the module docked with the *Mir* complex a new space observatory *Roentgen* started working in orbit making it possible to investigate sources within the widest range of energies (2—1300 keV). It contained four X-ray telescopes intended for tackling principally new problems of astrophysics of high energies. The largest among them is Pulsar X-1 developed at the SRI of the USSR Academy of Sciences jointly with scholars of a number of other scientific institutions of the country. The telescope has an effective square area of detecting devices as much as 6 times that of the American X-ray satellite-observatory HEAO 3.

Another device—a telescope with a shading mask—was developed jointly with the Space Research Laboratory of the Utrech University and University of Birmingham (the United Kingdom). One more telescope—spectrometer *Siren* 2 was developed in the Space Astrophysics Division of the European Space Agency.

And last, the device of West German scholars—*Hekse* intended for work in high energy domain was created by the Institute of extra-atmospheric physics of the M. Planck Society and Tübengen University. The specific feature of the device is the *Foswich* type detector.

A few thousand observations were carried out with the aid of the observatory and very serious scientific results were arrived at. It goes without saying, the studies of the Supernova star that flashed at the end of February, 1987 in Great Magellan Cloud are of the greatest interest.

The fluorescent shell formed during the burst of the star was so dense at first that it did not allow fluxes of X-ray and gamma radiation outside and so the radiation energy is lost as if "stucking" in it. But since the shell was flying to bits at a

tremendous speed, it was becoming gradually more "transparent". As a result, on August 10, 1987 a hard X-ray radiation was recorded by the *Roentgen* observatory.
Radiation of such an origin having an anomalously stiff spectrum has never been observed before by astronomers. By all means the radiation was a result of radioactive decays of cobalt nuclei transmitting into iron. Nuclear gamma radiation suffers scores and hundreds of dispersion in the shell, decreases its energy and comes to the Earth in the form of a continuous X-ray flux with an extremely hard spectrum.
The radiation flux from the Supernova was increasing slowly and steadily. The growth continued even when 98% of cobalt had broken down. The fact can be attributed merely to rapid "clearing" of the shell.
The main goal of the continued observations of the Supernova Star was a search for an X-ray pulsar — rapidly rotating magnetized neutron star born as a result of destruction of a blue supergiant in a neighbouring galaxy.
It should be noted that a hard X-ray radiation observed by the *Roentgen* observatory had a fast-changing component with a characteristic time of variation of a few days. At the same time another variability was observed in a softer range by the Japanese GINGA satellite. A different time behaviour of radiation testifies to its different nature in various energy ranges.
Among other objects of observation by the *Roentgen* observatory are quasar 3C 273; the X-ray pulsar Hercules X-1; the known "candidate to black holes" Cygnus X-1; the source emanating gamma rays of super-high energies Cygnus X-3; a transient source Cepheus X-4 and many other objects.
One more orbital observatory — *Granat* had been planned as a complex of instrumentation for carrying out detailed investigations in a wide range of energies from 3 to 2000 keV. For comparison, the American satellite observatory *Einstein* which yielded a lot of "latest news" (often quite unexpected), could work only in the mild range of energies of 0.1 to 3 keV.
The basis of the instrumentation complex of the *Granat* observatory are telescopes ART-P and *Sigma*.
The X-ray telescope ART-P developed by scholars of the SRI of the USSR AS jointly with other institutions, consists of four identical modules with parallel optical axes. Each module has a coding mask and 16 repeated patterns (41 out of 43 elements), a collimator with a vision field of 1.9 by 1.8°, a position-sensitive detector, electronics blocks.
The Soviet-French telescope *Sigma* with a high sensitivity provides an opportunity to draw maps of the celestial sphere with a high angular resolution within the energy range of 50 keV — 2 MeV. The system of obtaining images consists of a coding mask of 29×53 elements based on a pseudo-random table of 29×31 elements and a position-sensitive detector. The effective square area of the detector is 800 $cm^2$. The telescope with a vision field of 4.2×4.25° makes it possible to draw images of sources with an angular resolution of 16′. It is supposed that during the experiment the *Sigma* telescope will be able to observe more than 100 galactic and extragalactic sources.
One more X-ray telescope — ART-S — consists of two couples of detecting devices. Each couple, thanks to a rocking collimator, observes in turns the source and the background. The energy range of the telescope is 3 — 150 keV.
Specific features of the orbit of the *Granat* satellite observatory and capacious memory provide an opportunity to fulfil observations for 24 hours. This, together with a large area of detectors, makes the observatory a record one in sensitivity.
*Granat* is the greatest purposeful project on investigating gamma bursts. The major feature of the experiment is the mounting of the instrumentation on a turntable. That provides an opportunity just in seconds to sight the instruments on gamma bursts making it possible to obtain its detailed spectra and to follow the development of the event in time. The utilization of detectors with narrow fields of vision and aligned optical axes provides an accurate (up to angular minutes) location of sources of gamma bursts.
Great hopes in coping with perspective problems of extra-atmospheric astronomy are set on the project *Spectr-Roentgen-Gamma* planned for the beginning of the 90s.
Implementation of the project will provide for an essential advance towards better understanding of properties of various classes of astronomic objects, ascertainment of the nature of many still not quite clear physical phenomena observed in the Universe.
Devices of the new orbital observatory must provide for unique information on galactic sources of X-ray radiation (black holes and neutron stars in binary star systems, remnants of flares of Supernovae, hot interstellar gas), supermassive black holes (their masses are as much as millions or even billions times that of the Sun) in nuclei of active galaxies, intergalactic gas in accumulations of galaxies, X-ray radiation of regular galaxies. The huge square area of mirrors of the X-ray telescopes mounted on board the observatory, the widest energy range, the ability of drawing up X-ray images with a high resolution and of doing X-ray spectroscopy open up unique possibilities of utilizing the observatory for tackling cosmological problems.
It will be feasible to search for

the most distant X-ray quasars-these particularly bright formations, each of which in terms of radiation is on par with a whole galaxy of hundreds billions stars. Brightness of X-ray radiation of one of such quasars (OX-169) merely for three hours changes as much as twice. Thus, in terms of the dimensions it is not bigger than the Solar system, it is even approximately half of it. The heaviest black hole of similar dimensions would have a mass of about 200 million suns. Then how to explain an enormous energy output of quasars?

The observatory will be able to observe hundreds thousands of superweak X-ray sources being near the boundary of the Universe under observation. Their detailed studying will shed additional light on the problem of a diffuse X-ray background. The thing is that the sky in the X-ray range does not look dark. There is a background "smeared" radiation compared with the radiation of discrete sources. It is supposed that it is a radiation of a very rarefied hot intergalactic gas that filled the whole space. If it is correct, then the magnitude of the diffuse background will help judge the average density of the Universe, and, consequently, whether our world is "closed" or "open", whether the observed expansion of the Universe will be replaced by compression, or it will continue infinitely...

But, may not the background be point sources, very distant and not discernable yet separately, merged in a whole? Similar to that when light of remote stars merges into mild shine of the Milky Way ... Telescopes of the *Spectr-Roentgen-Gamma* observatory will, therefore, be directed at "blank" areas of the sky either, where there is the background only, so that to calculate superweak X-ray sources.

Investigation of transient (disappearing) X-ray sources and gamma-bursts will be another important goal of the project. The wide energy range, high sensitivity, spectral and angular resolution of the orbital observatory devices place the *Spectr-Roentgen-Gamma* among the most interesting scientific space projects of the first half of the 90s. Within the framework of the existing international co-operation in carrying out astrophysical research on board space vehicles the project will become, on the one hand, a serious supplement to the being planned launching of the ROSAT observatory (the FRG-the UK), on the other hand, it will become a necessary logical link in transfer from projects of the 80s to highly expensive projects of the end of the 90s—XMM (European Space Agency), AHAF (the U.S.NASA). The XMM project, for instance, envisages the mounting of four X-ray telescopes of "grazing incidence" on board the space vehicle since X-rays cannot be brought in focus as light in optical telescopes, therefore, they are gradually brought together with the help of rings—mirrors put into one another. Each of the telescopes will consist of 50 mirrors and will have a focal distance of 7.5 m.

One of the main instruments of the *Spectr-Roentgen-Gamma* observatory will be the Soviet-Danish telescope—concentrator XSPEST (it is mounted along the main axis of the observatory), which makes use of X-ray optics of grazing incidence by the cone-cone diagram. The total area of the surface of the X-ray mirrors of two identical telescopes will be 130 $m^2$. The sensitivity of the telescope will be as much as 20 times that of the American satellite *Einstein*. Telescopes are planned to be taken into space folded and then when in orbit they are opened. The focal distance of the telescopes will be 8 m and it will be able to change. The angular resolution is 2′ .

The optical structure of the telescope as well as the mechanism of opening will be developed and manufactured by Soviet specialists. All calculations of thermal and mechanical properties of the telescope as well as its testing for fitting the operation conditions on board the spacecraft will be done by the Soviet Side. Specialists from the USA, Finland and from some other countries are also going to take part in developing the telescope. Thus, in Czechoslovakia a system of change and precise guidance of focal detectors of the telescope is being developed.

One more telescope of grazing incidence JET-X (it is also installed along the main axis) is designed for accurate location, spectroscopy and drawing up weak X-ray sources with a resolution of 10″. The telescope will include an optical monitor with a mirror of 30 cm diameter and a device with the so-called charge feedback. This a silicone microcrystall whose surface contains thousands of sensors. Light accumulated and amplified by the mirror is incident on them and is converted then into electrical signals proportional to its intensity in this area of the image. Photoplates that always were a "standard supplement" to ground-based astronomic chambers recorded only seven out of each thousand of light quanta. A device with charge feedback records 700 of each thousand of quanta.

The optical monitor will be able to observe thousands of stars on each platform of observation up to stars of 20-th and even 21-st magnitude. This can promote optical identification of X-ray objects and will make it feasible to simultaneously investigate their variability in X-ray and optical ranges.

Specialists of the United Kingdom, Italy, the USSR, the FRG and the European Space Agency are working jointly at developing the telescope JET-X. These two chief instruments of the observatory supplement each

other: the Soviet-Danish telescope, owing to the huge accumulating area of the mirrors will be able to perform detailed spectroscopy of comparatively weak sources, and the telescope JET-X, having a high angular resolution, must yield record results in long-term deep surveys of the sky and in observations of superweak objects. The major goals of these instruments are related to extra-galactic astronomy and cosmology.
The telescope with a coding mask (MART) developed by the Soviet scientists is assembled also along the main axis of the observatory, it is designed for drawing up images and spectroscopy of sources in a rigid X-ray range. Its angular resolution is 7″.
The telescope of regular incidence EUVITA is being developed in co-operation by specialists of the USSR, the Germany and the United Kingdom to observe sources in the range of ultimate (extreme) ultraviolet radiation and to investigate homogeneities of the interstellar medium.
Two identical telescopes are mounted along the main axis of the observatory, two others —on a turntable. The angular resolution of a telescope is 10″.
It is planned to place on the turntable one more Soviet telescope with a coding mask ART-SP for drawing up images and for spectroscopy of bright X-ray sources, for investigating extended X-ray sources (spatial resolution of the telescope is 7″) and a Czechoslovakian telescope of grazing incidence (GITA) to observe bright sources in a standard X-ray range (angular resolution is 20″).
To ascertain the co-ordinates of the turntable a stellar sensor is being manufactured in Bulgaria, it will be used also for optical observations of X-ray sources.
The analysis and spectroscopy of gamma-bursts of space origin will be done by the Soviet-made device SPIN for space gamma-bursts.

The observatory *Spectr-Roentgen-Gamma* is planned to be launched to a strongly extended orbit with initial altitudes at perigee of 500—1000 km and at apogee of 200 thou. km. The period of the working part of the orbit will be 3—4 days. During the year the space vehicle will enter the Earth's shadow only twice for not more than 3 h.
Due to an essential amount of information expected and the necessity for conducting long-term investigations the devices will be used mainly for independent observations with information being recorded in their own storage. Accumulated information will be transmitted to the Earth by a highly informative radio complex during the near communication period. A mean period of observation under such conditions of work will be one day. The number of periods of observation per year is 200—250.
During the working cycle the observatory will be able to observe the whole celestial sphere. In each individual period of observation the spacecraft will shift over to various scientifically interesting sources automatically according to a special programme.
It is planned that the orbital observatory *Spectr-Roentgen-Gamma* will yield a few milliards of information units daily. This information cannot be processed by any computer centre or by any scientific group. The way out of the situation is in assuming a system of competitive applications for observations. This will open access to participation in the project to all observatories, institutes and Universities of the country. According to the conditions of the Agreements on co-operation the Soviet Union will have at its disposal a considerable part of observation time of each of the devices of the observatory *Spectr-Roentgen-Gamma,* and the time will be distributed between different groups of astronomers and physicists on a competitive basis as it happened in the case of the observatory *Einstein* (the USA), the satellites IVE and EXOSAT (the European Space Agency) and as it is planned for the *Hubble* space telescope.
A new stage in the development of gamma-astronomy scholars relate to the commissioning of the world largest gamma-telescope — *Gamma* 1 intended for extra-atmospheric observations within the energy range of 50—5000 MeV. French scientists took part in its development jointly with Soviet scientists. The space observatory involves also a telescope of soft gamma-radiation and an X-ray telescope-spectrometer. Polish specialists manufactured a stellar sensor *Telezvezda.*
The fact that astronomic observations involve also gamma-range leads to a qualitative leap in the knowledge of the world. One of the specific features of the gamma-range as compared with other parts of the spectrum is great energy of gamma-quanta. This makes it possible to investigate interaction with great emanation of energy in each elementary process. Such processes are, evidently, the basis of "vital activity" of stars and galactic nuclei, and they occur in stellar bursts and during bursts of galactic nuclei. Gamma-astronomy gives, therefore, an opportunity to have an insight into highest energies, "to see" and study the processes which govern the world of stars and galaxies and, eventually, determine the development of the Universe.
Another noteworthy feature of gamma-radiation is its propagation ability. It is not subject to the influence of electromagnetic fields and propagates practically rectilinearly. Absorption in all directions on the average does not exceed fractions of percent. Absorption of gamma-quanta

becomes significant only for very remote parts of the Universe, where the average density of the substance is bigger.
Gamma-rays help see such peculiar areas of the Galaxy, as, for instance, its centre hidden by clouds of dust and gas surrounding the galactic nucleus and, therefore, not seen in optic rays.
The high penetrating ability of gamma-radiation being recorded makes it possible to investigate the interstellar and intergalactic medium, involving the distribution of the substance not manifesting itself in other ranges of wavelengths; to get information on nuclear and electronic components of cosmic rays of high energies; to study processes occurring in relativistic astronomic objects as well processes of nuclei synthesis at star bursts; to seek for antimatter in the Universe.
In the telescope *Gamma* 1, unlike the earlier used chambers, there was used a spark chamber with a wide gap on the spacecraft. In compartments of such a chamber the spark moves along the particle trace if its track deviates from the vertical by more than 20°. This improves the spatial precision of determining co-ordinates of the radiation source, decreases the number of false breaks-down distorting the observation picture.
Tracks of charged particles occurring in the form of sparks in gaps of spark chambers are recorded by two measuring television cameras observing through flat mirrors gaps of spark chambers from two perpendicular directions. The television system measures co-ordinates of sparks with a resolution of 0.15 mm at three levels along the height of each gap and transmits these data to the telemetric system.
During ground processing of obtained telemetric data the second stage of identification of gamma-events is done and direction of their pass, co-ordinates of the conversion point of the gamma-quantum and its energy are determined.
Identification is carried out on the basis of properties of the "picture" typical of the gamma-quantum of high energy in a 12-gap spark chamber: in upper gaps sparks are absent, and after one of the electrodes tracks of charged particles are observed. And the observation of a diverging from the conversion point "fork" of an electron-positron couple is the most reliable sign of gamma-quantum recording.
The direction of the gamma-quantum arrival is determined by the direction of the bisectrix of the angle of motion of the couple of particles born by it, and its energy is determined by repeated scattering of electrons and positrons in electrodes of spark chambers and by the number of particles in electron-photon stage developed in the laminated (lead scintillator) structure of the scintillation calorimeter.
The period of an active existence of the space laboratory in orbit should be not less than a year. A big set of technological and calibrating data makes it possible to follow the state of the telescope systems in the course of the experiment. By means of 98 commands the logics of selecting events and composition of working electronics blocks can be changed which provides a high vital activity of the device.
Radio astronomy has achieved essential success, particularly for the recent years. By crude estimates today it yields approximately half the experimental data on "sky mysteries". Virtually thanks to these data a genuine revolution in research of the Universe is taking place. Astrophysicists hope that radioastronomy will help them "see" and understand when and how first galaxies appeared as well as first stars and first planet systems; what quasars and galactic nuclei are and whether they are related with big black holes; what in general the chief properties of the surrounding space are, its mean density, evolution starting with the moment of the Big Bang. And last, it is of no less interest to find out whether there exist other spaces, essentially differing in their regularities from ours, to see and study other planet systems, to ascertain the probability of life appearance in different areas of the Universe and to undertake an effort to detect other extra-terrestrial civilizations.
Radio methods provide an opportunity for investigation of objects from which extremely little energy reaches the Earth because of their great remoteness and which have such a low temperature that their radiation is only in one radio-frequency range. However, due to a great radio wavelength the resolution ability of radio telescopes does not exceed the abilities of the naked eye. The way out had been found in studying space objects by the method of analysis of the interference pattern created by two or more radio telescopes, the information being taped, the tapes then are computer processed using data on the current geometry of the interferometer and co-ordinates of the radio source. Such a system appeared to be equivalent to the radio telescope with the aerial diameter equal to the distance between the telescopes.
Scientists of the SRI of the USSR AS have been conducting interferometric radio surveys of nuclei of extragalactic objects and areas of star formation in the Galaxy for a longtime period already. In these observations the greatest resolution ability is utilized as compared with other methods of studies in all the regions of the electromagnetic spectrum (up to 0.0004″ at a wavelength of 1.35 cm). Radio observatories of the USSR, the USA, Australia, the FRG and

Sweden take part in the experiments. An interferometer has been created with the base line Yevpatoriya — Simeiz — Pushchino.

At the SRI of the USSR AS unique feasibilities for prospective extra-atmospheric astronomic observations have been explored for the first time in connection with the creation of large radio telescopes in space and placing them at distances prevailing greatly the Earth's diameter. This will permit their resistivity and angular resolution to be increased by many orders. The first step in this direction was undertaken in 1979, when on the Institute's initiative and with its participation a space radio telescope with a 10 m dia aerial (KRT-10) was deployed on *Salyut* 6.

New devices are being developed. One of the near projects at which scientists are working is the long-term program of studies in space which includes a series of experiments with the aim to develop ground-based and space radio astronomical systems. In the mid-90s it is planned to implement the first stage of the Project that is to develop a ground-based and space radio cm-range interferometer (Radioastron-cm). This radio interferometer will consist of a space radio telescope 10 m in diameter which works in 4 wavelength ranges: 92 cm; 18 cm; 6 cm; and 1.35 cm and of the international network from ground-based radio telescopes. The space radio telescope is to be installed on board the unmanned *Spektr* spacecraft which is on the orbit of an artificial Earth satellite with a period of revolution equal to 1 day and with the longest distance from the Earth equal to 70 thousands of km. The resolution of such a system will be equivalent to a gigantic radio telescope with an antenna diameter in several tens of thousands of km.

The Radioastron-cm ground-based and space radio interferometer is intended for studying with a high-angular resolution the structure of powerful compact radio emission sources: nuclei of active galaxies and quasars, galactic relativistic objects (pulsars, vicitinies of black holes), space masers in the regions of star formation and of planetary systems, the center of our Galaxy.

It was the Space Research Institute which began the development of the Radioastron Project, however, from the middle of 1990 the activity within this Project is going on in the Lebedev Institute of Physics, USSR Academy of Sciences.

It may be expected that after the *Radioastron* in space there will appear entire systems consisting of a lot of radio telescopes enabling investigations of astronomic objects, getting their detailed images, ascertainment of co-ordinates with very high accuracy. It will become feasible to measure the distance to remote objects by direct techniques, to study their motion. Development of such systems will, apparently, become feasible at the very beginning of the next century.

Of great interest is to continue investigations of large-scale anisotropy of relict radiation that had been started in the experiments *Relict* 1 on board the satellite *Prognoz* 9.

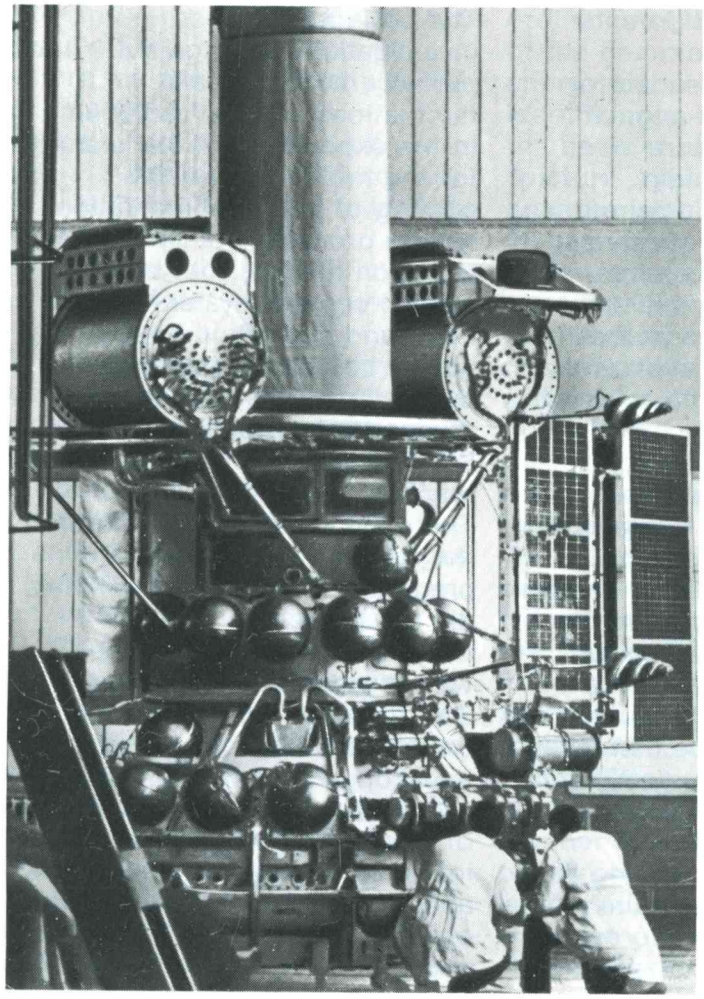
Scientists of the SRI of the USSR AS are working at a new project — *Relict* 2 which particular feature will be cooling the radiation receiver and the aerial which will help enhance the sensitivity of the instrumentation as much as 3 to 4 times the one achieved in the project *Relict 1.* Cooling arrangement is a three-stage emitting radiometer with temperatures of stages 250, 150 and 100 K.

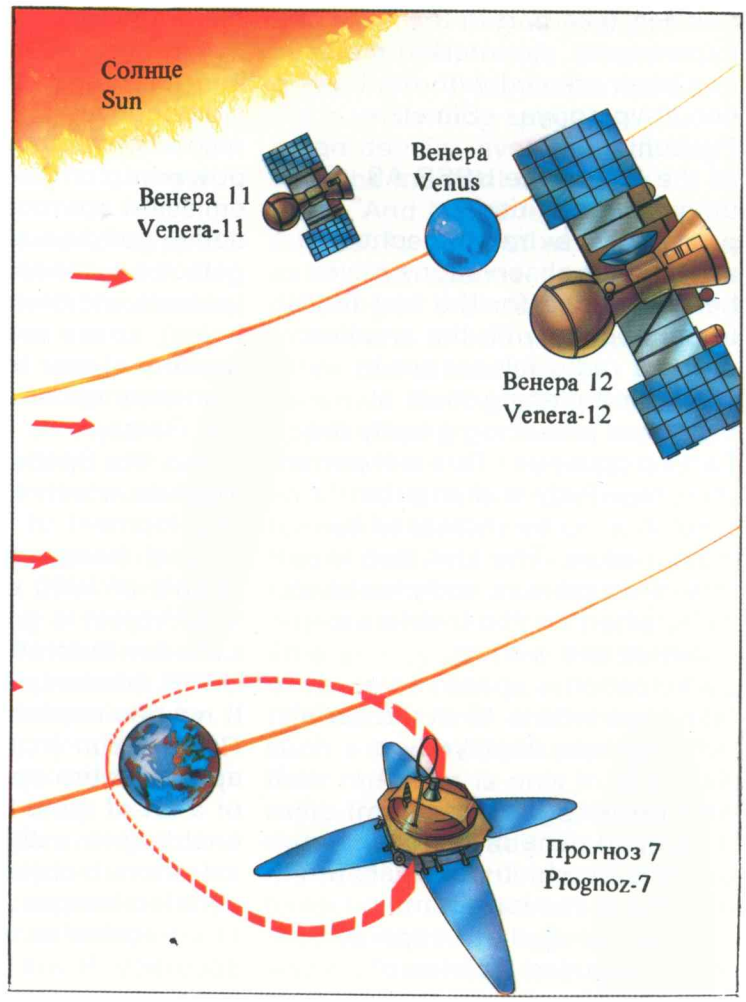
The space apparatus is planned to be injected in the vicinity of the libration point $L_2$.

The project envisages investigations of large-scale and partially medium-scale fluctuations of relict radiation.

In the experiment *Aelita,* planned for the middle of the '90s, cooling of the instrumentation will be provided not by the radiation method, but by a special cryogen system — liquid neon and superfluid helium, for deeply cooled bolometers a cyclically working adsorbing cryogen refrigerator will be used. Sensitivity of the instrumentation reaches approximately $10^{-5}$ K. The expected working time of the cryogen system, as predicted, is 3 to 4 years. A 1 m dia telescope (a 3 m dia telescope is being developed) with focal devices of a 2 mm — 300 μm range will be deployed on the satellite, and smaller telescopes of millimeter waves as well. Besides investigations of relict radiation, such an instrumentation complex will be able of performing astrophysical observations of many discrete sources of radiation in practically unexplored submillimeter and shortwave millimeter ranges. In particular, the dust matter of galaxies emanates, mainly, on submillimeter waves. Distinctions between radio bright and radio quiet quasars should be sought within that range either.

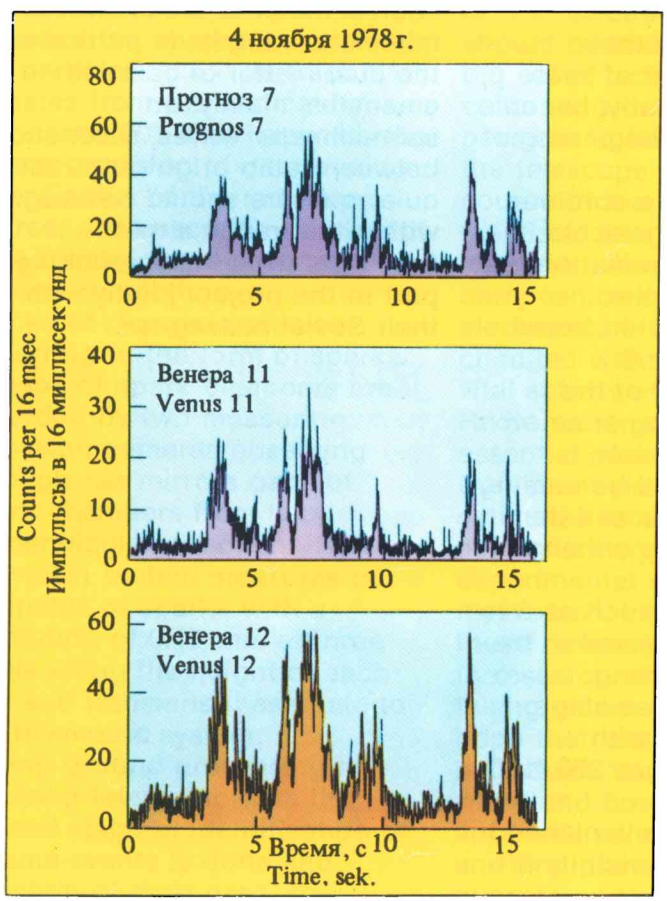
Scientists from Italy are taking part in the project jointly with their Soviet colleagues.






*Наземные испытания спутника-обсерватории «Астрон»*

*Ground-based tests of the Astron satellite-observatory*




*С помощью приборов, установленных на борту станций «Венера-11», «Венера-12», спутнике «Прогноз-7», наблюдалось более 30 гамма-всплесков*

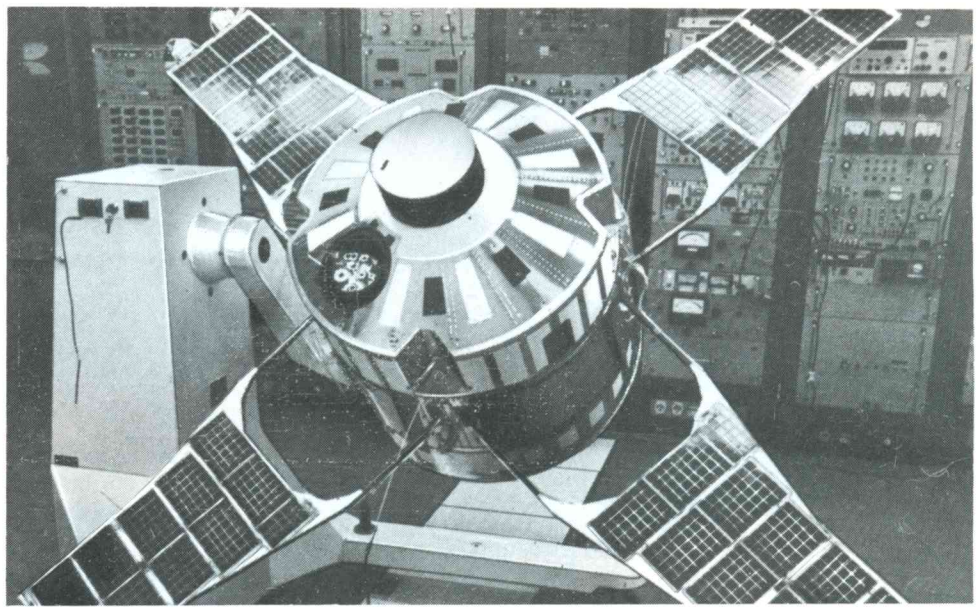
*More than 30 gamma-bursts have been observed by instruments mounted aboard Venera 11, Venera 12 stations, as well as on board Prognoz 7 satellite*

*Гамма-всплеск 4 ноября 1978 г.*

*A gamma-burst observed on November, 4, 1978*

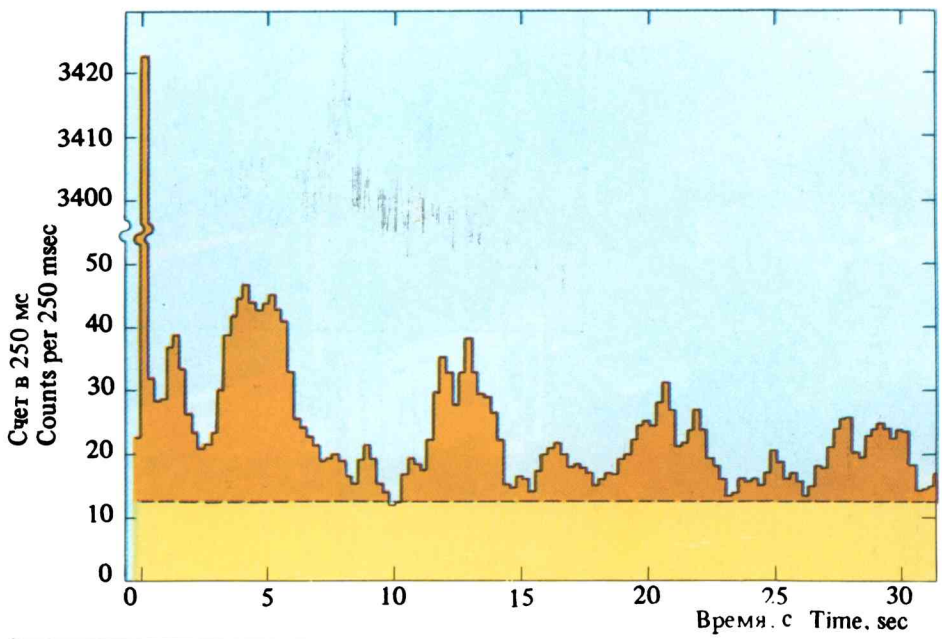
*Советско-французский спутник «Снег-3»*

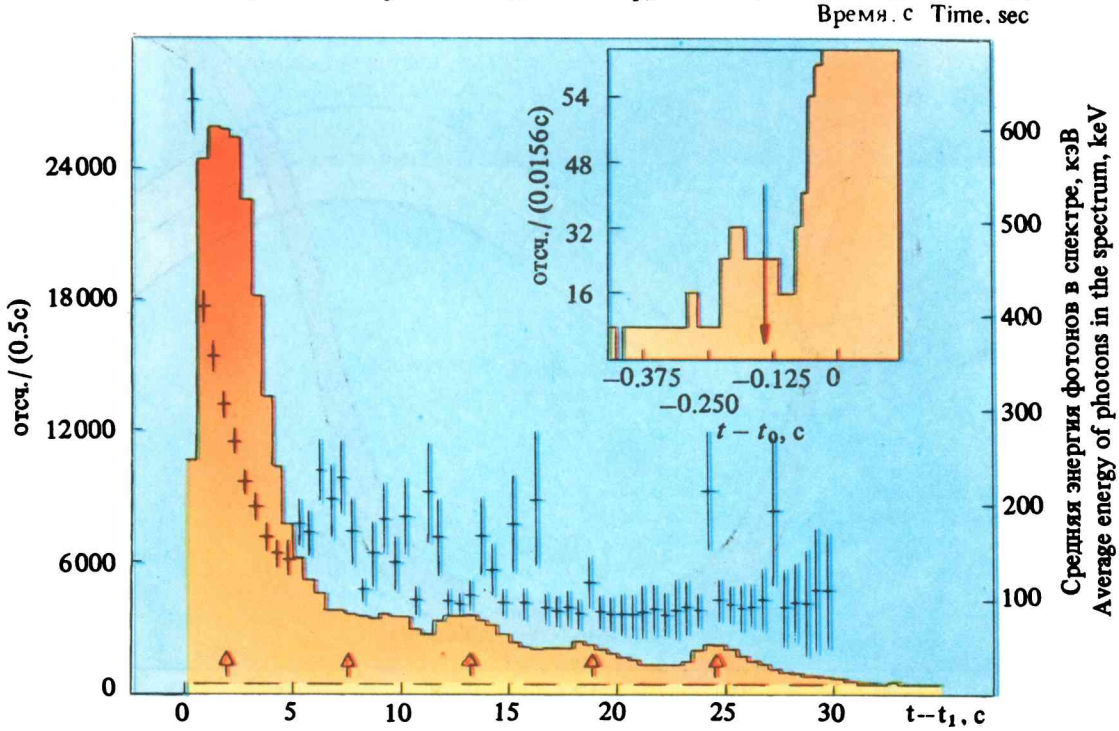
*Soviet-French Signe 3 satellite*



*С увеличением расстояния между космическими аппаратами локализация всплесков с помощью метода триангуляции значительно улучшается. Так, событие 5 марта 1979 г. было локализовано с точностью в несколько угловых минут в направлении на остаток Сверхновой в Большом Магеллановом облаке*

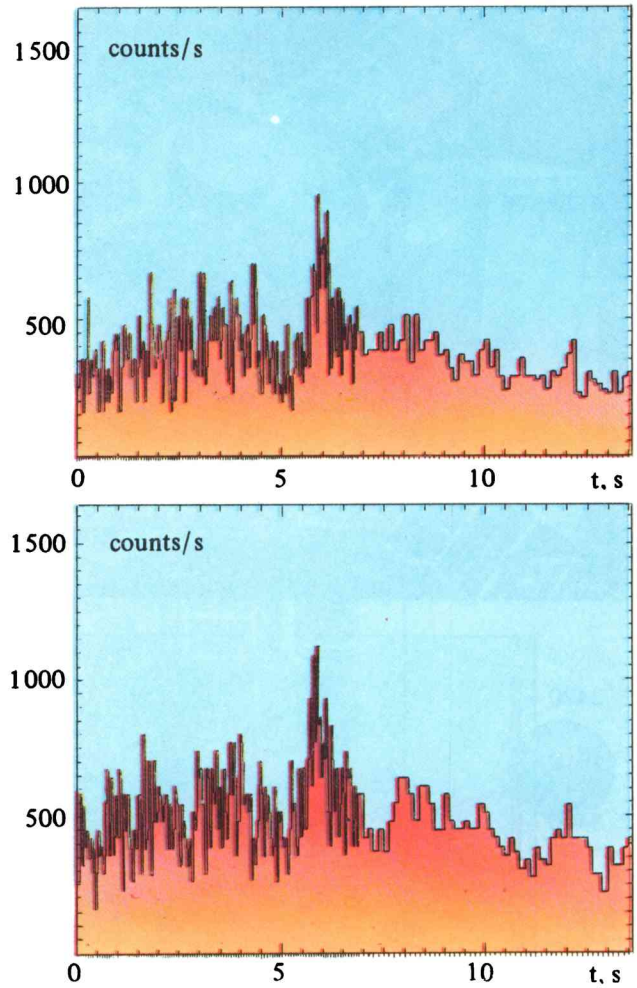
*Location of burst by the method of triangulation improves considerably as the separation between the spacecraft grows. Thus, the event on March 5, 1979, was located with an accuracy of several angular minutes toward the remnants of a supernova in the Large Magellanic cloud*



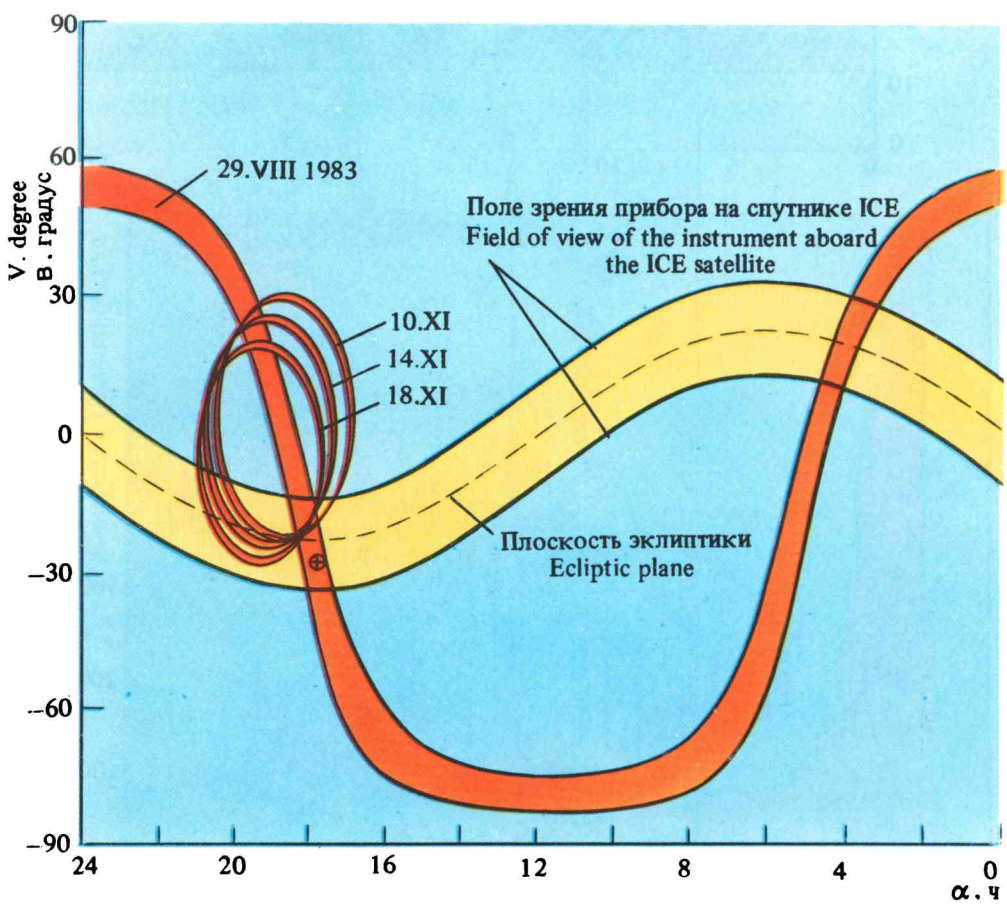

*Гамма-всплеск 880822 $T_0=10^h7^m17^s$, 250 UT, зарегистрированный в эксперименте ЛИЛАС на станциях «Фобос-1» и «Фобос-2»*

*Gamma-burst 880822 $T_0=10^h7^m17^s$, 250 UT recorded in the LILAS experiment aboard Phobos 1 and Phobos 2 stations*




*Советско-французский эксперимент «Снег-2МП 9» на спутнике «Прогноз-9». Мощный космический гамма-всплеск GRB 830801. Эволюция во времени средней энергии фотонов в регистрируемом прибором спектре (правая шкала и крестики, размер которых по вертикали дает представление о неопределенности приведенного значения и соответствует одному стандартному отклонению). Кривая блеска гамма-всплеска в диапазоне энергий 68—930 кэВ (левая шкала и сплошная кривая). Штриховая линия соответствует уровню фона. На врезке в другом масштабе приведено начало всплеска*

*Soviet-French Signe 2MP9 experiment aboard the Prognoz 9 satellite. Powerful space gamma-burst GRB 830801. Evolution in time of the mean energy of photons in the spectrum recorded by the instrument (right scale and crosses which size by the vertical gives the assumption of the uncertainty of the given value and corresponds to one standard deviation). The curve of the glitter of gamma-burst within the range of energies 68-930 keV (left scale and solid curve). Dashed line corresponds to the back-ground level. The beginning of the burst is given in other scale*

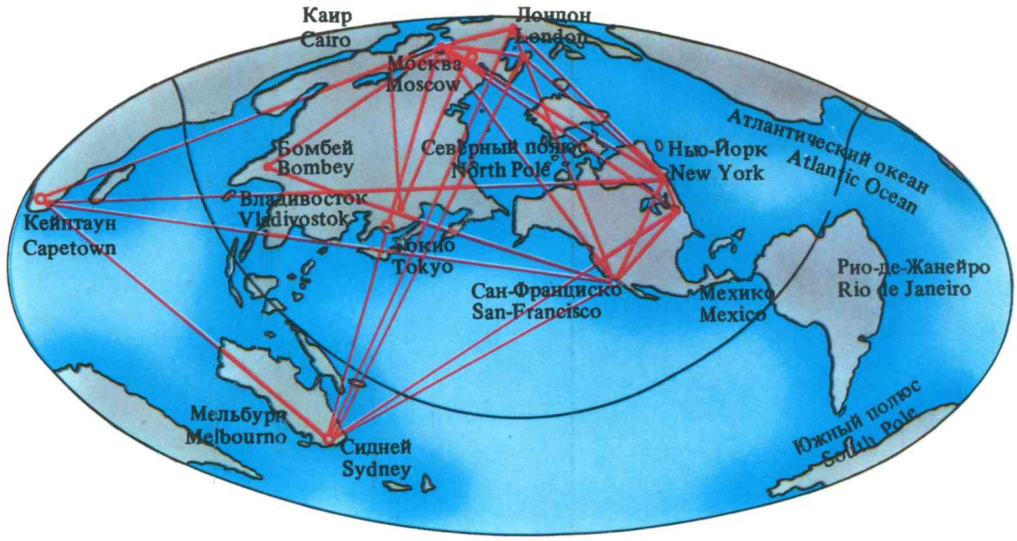



*Область локализации источника мягких коротких повторных всплесков SGR 1806-21 в созвездии Стрельца по данным советского эксперимента на спутнике «Прогноз-9» и американского эксперимента на спутнике ICE*

*The region of the localization of the source of soft short recurring bursts SGR 1806-21 in the Archer (Sagittarius) by the data of the Soviet experiment aboard the Prognoz 9 satellite and the American experiment aboard the ICE satellite*

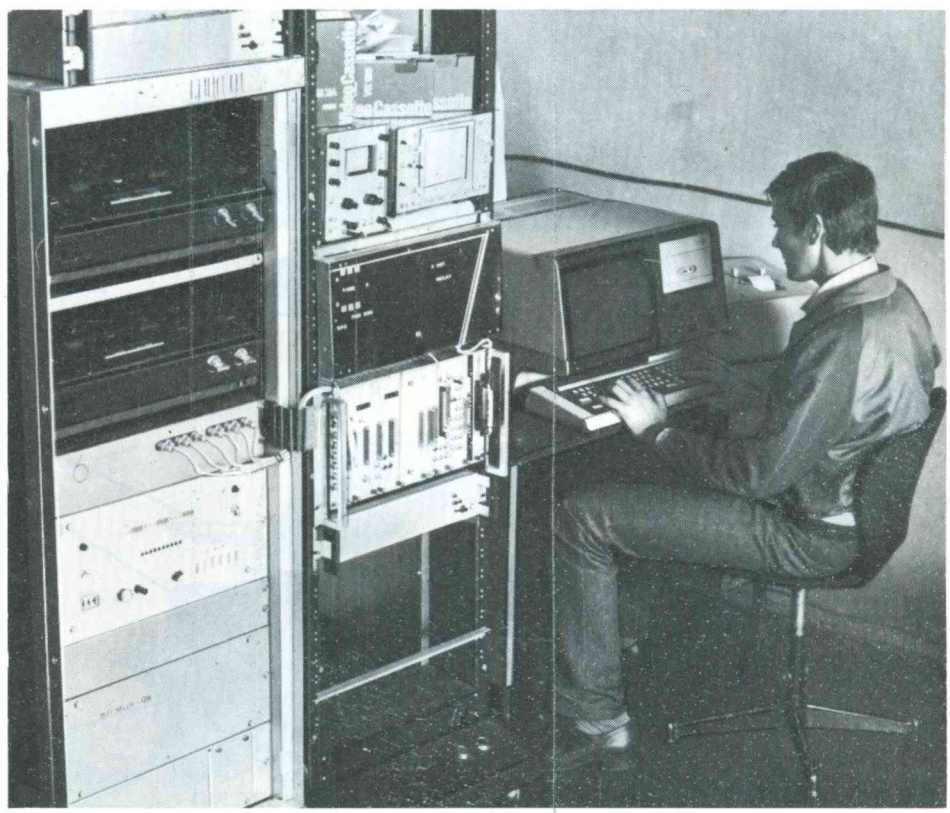
*Схема глобальной радиоинтерференционной сети, включающей в себя все крупнейшие радиотелескопы мира. С помощью этой сети проводятся регулярные исследования тонкой структуры квазаров, ядер галактик, областей образования звезд и планетных систем*

*The global VLBI network including all the largest radiotelescopes worldwide. Regular investigations of the fine structure of quasars, galactic nuclei, regions of star and planetary system formation are performed by means of this network*




*Обработка информации радиоинтерферометра на спецпроцессоре*

*Processing of VLBI data using a special processor*



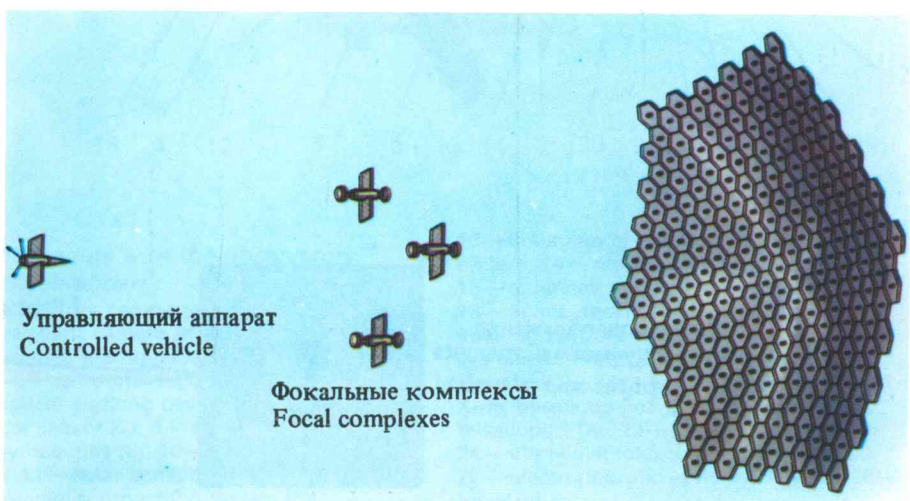
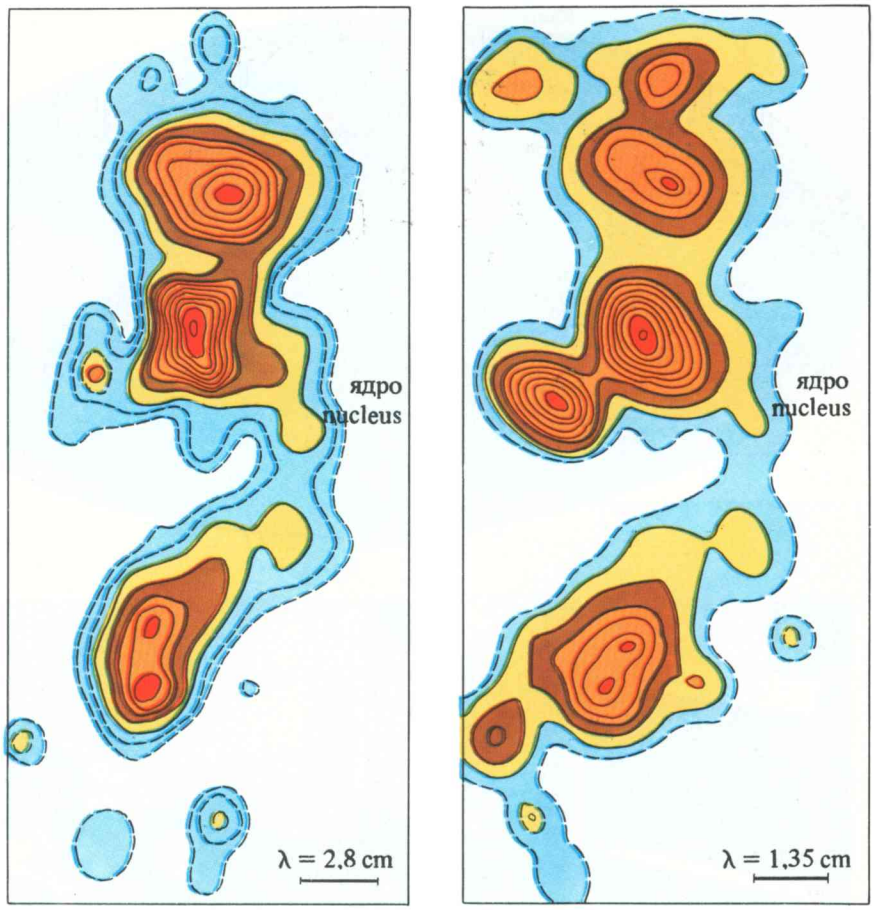



*Схема неограниченно наращиваемой антенны радиотелескопа*

*A radio telescope antenna of unlimited augmentation.*




*Радиофотография ядра сейфертовской галактики NGC-1275 на длинах волн 2,8 и 1,35 см. Переход к более коротким волнам позволил выявить тонкую структуру ядра источника*

*A radio photograph of the nucleus of the Seifert Galaxy NGC 1275 at wavelengths of 2.8 and 1.35 cm. A shift to shorter wavelengths has made it possible to determine the fine structure of the source nucleus*

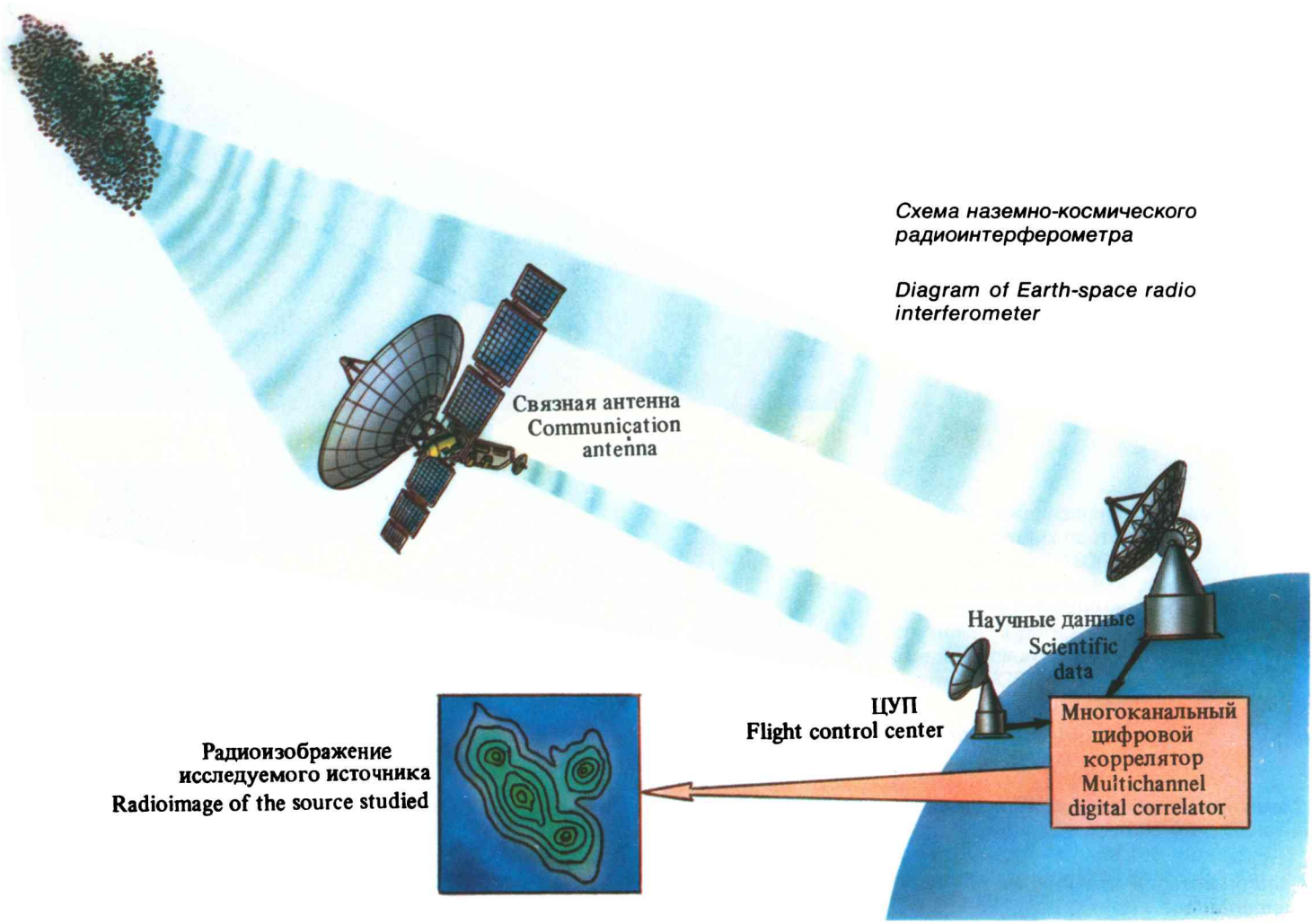
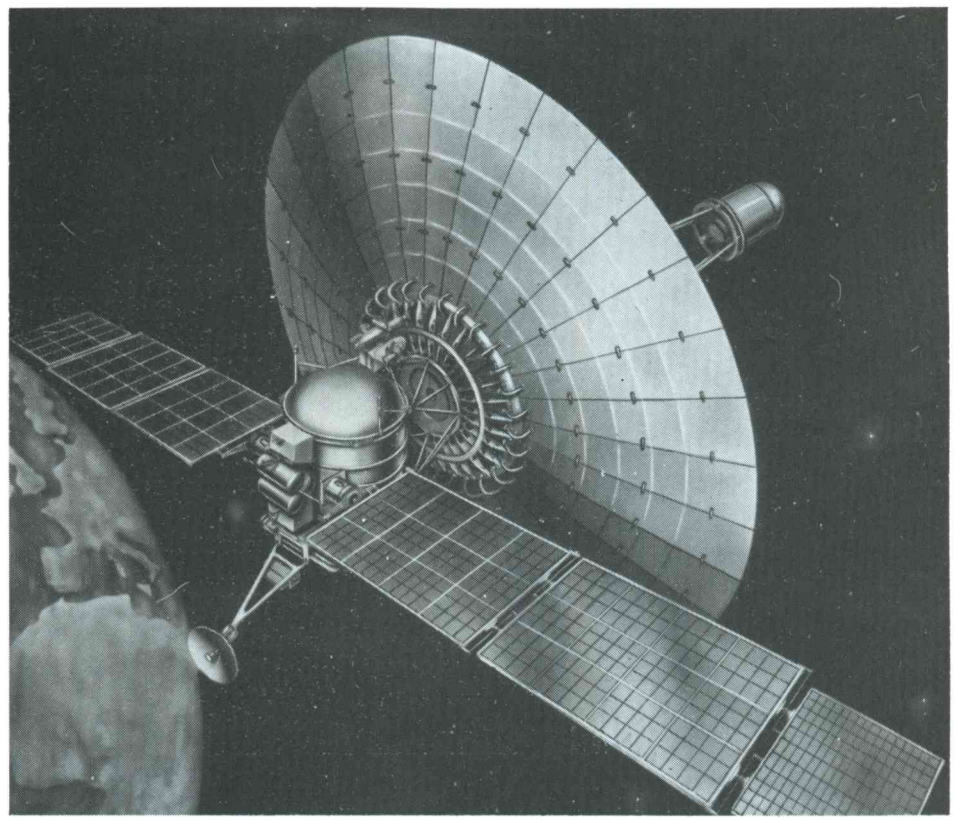



*Схема наземно-космического радиоинтерферометра*

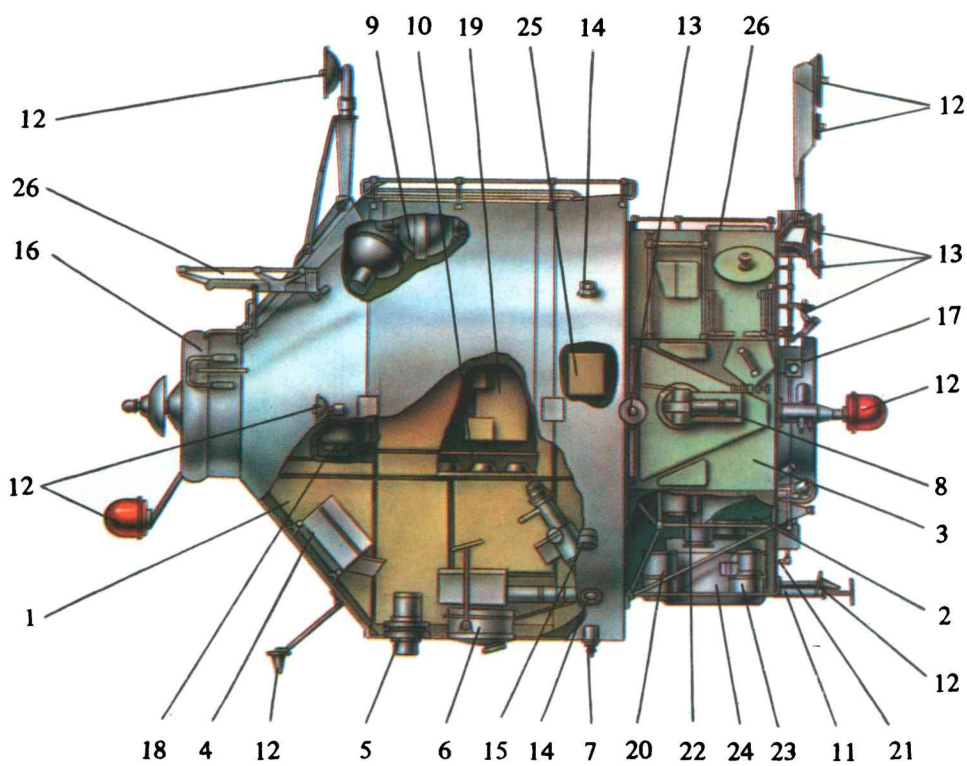
*Diagram of Earth-space radio interferometer*

*Космический аппарат «Радиоастрон»*

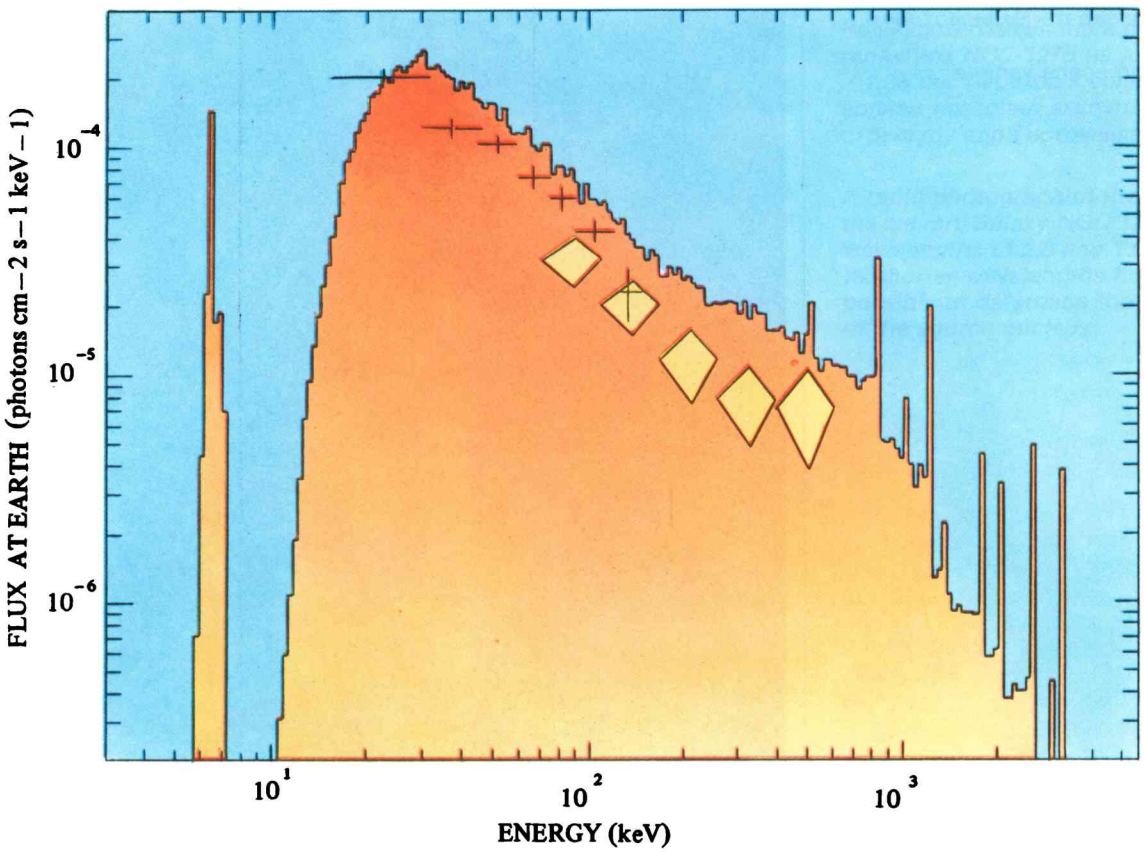
*The Radioastron space vehicle*



*Модуль «Квант» с обсерваторией «Рентген» на борту:*
1 — лабораторный отсек (ЛО); 2 — переходная камера ЛО; 3 — отсек научных приборов (ОНП); 4 — центральный пост управления; 5 — прибор астроориентации; 6 — оптический визир; 7 — датчик инфракрасной вертикали (2); 8 — звездный датчик (2); 9 — гиродины (6); 10 — блоки цифровой машины; 11 — солнечный датчик (3); 12 — антенны системы сближения «Игла» (8); 13 — антенны системы сближения «Курс» (5); 14 — антенны радиотелеметрии (4); 15 — антенны командной радиолинии (2); 16 — активный стыковочный агрегат; 17 — пассивный стыковочный агрегат; 18 — агрегаты системы жизнеобеспечения; 19 — доставляемое оборудование для станции; 20 — рентгеновский телескоп «Пульсар X-1»; 21 — рентгеновский телескоп «Фосвич»; 22 — рентгеновский телескоп ТТМ; 23 — спектрометр «Сирень-2»; 24 — ультрафиолетовый телескоп «Глазар»; 25 — электрофоретическая установка «Светлана»; 26 — поручни

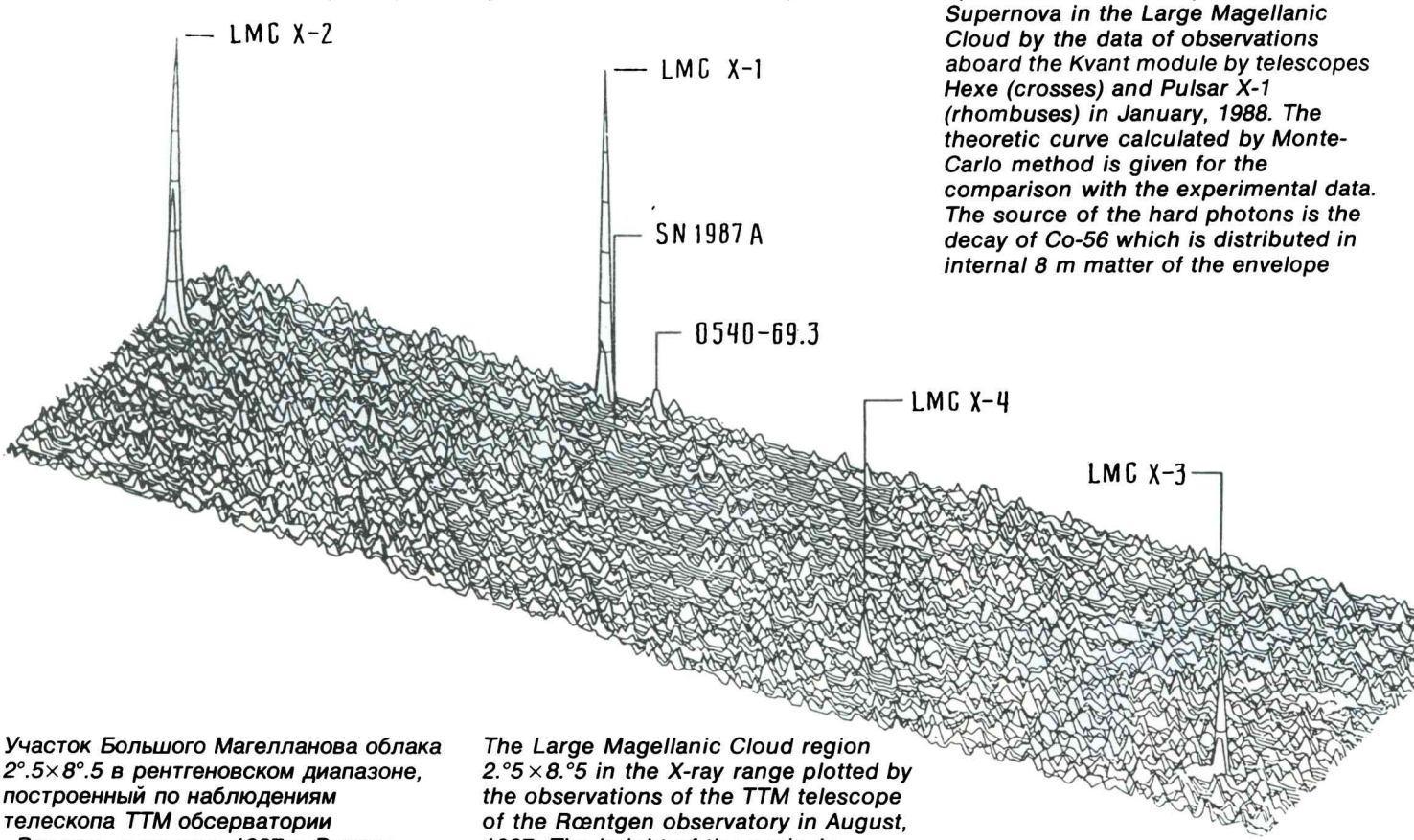



*Kvant module with the observatory Roentgen aboard:*
1 — laboratory compartment (LC); 2 — transient camera of LC; 3 — compartment of scientific instruments; 4 — central control post; 5 — astroorientation instrument; 6 — optical sighting device; 7 — infrared vertical sensor (2); 8 — star sensor (2); 9 — gyroscopes (6); 10 — digital computer units; 11 — solar sensor (3); 12 — antennae of the *Needle* approaching system (8); 13 — antennae of the *Course* approaching system; 14 — radiotelemetry antennae (4); 15 — antennae of command radiolink (2); 16 — active docking unit; 17 — passive docking unit; 18 — units of the life-support system; 19 — equipment delivered for the station; 20 — X-ray telescope Pulsar X-1; 21 — X-ray telescope Foswitch; 22 — X-ray telescope TTM; 23 — *Lilas 2* spectrometer; 24 — ultraviolet telescope *Glasar;* 25 — electrophoretic system *Svətlana;* 26 — hand-rails



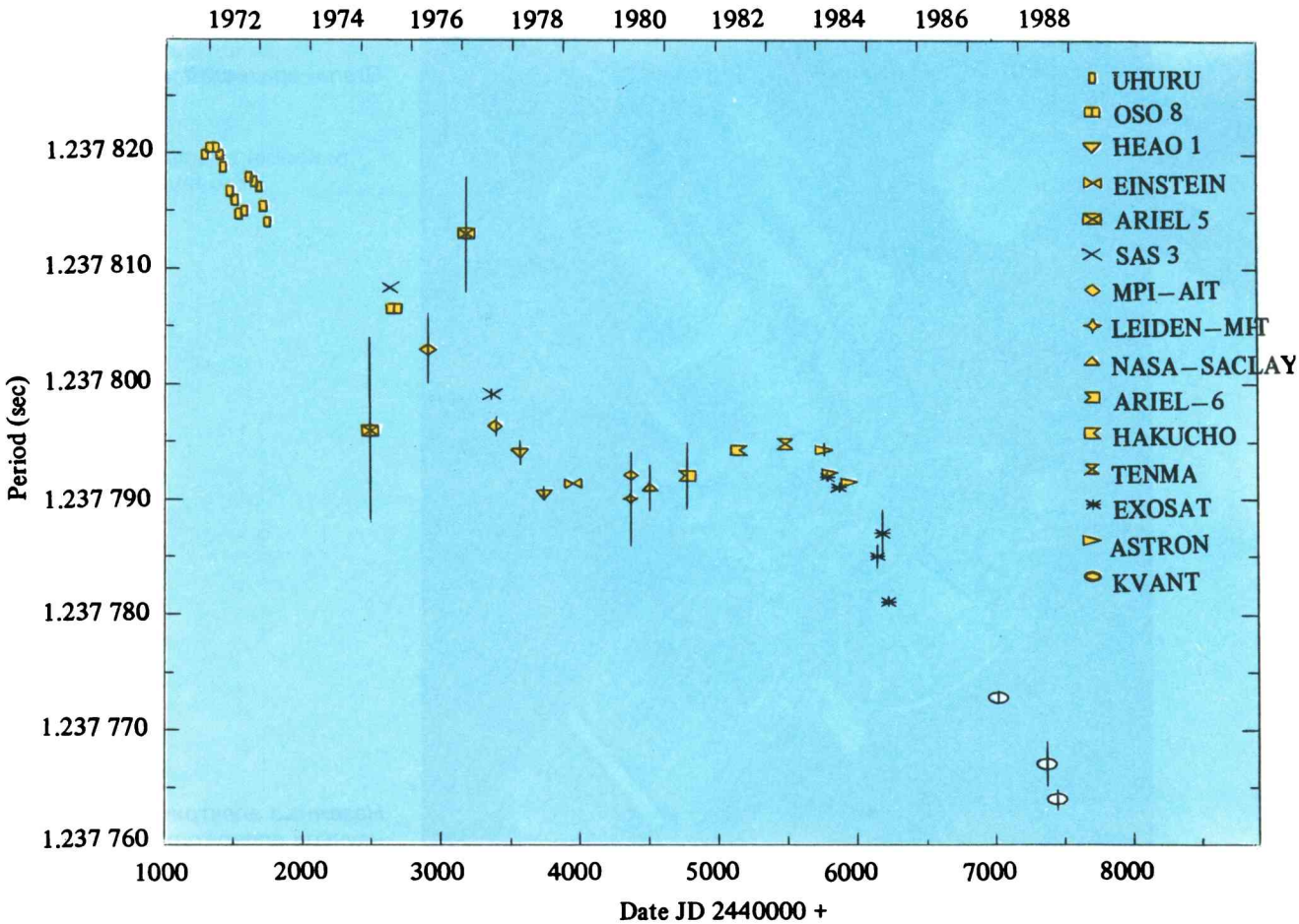

*Спектр жесткого рентгеновского излучения Сверхновой в Большом Магеллановом облаке по данным наблюдений на модуле «Квант» при помощи телескопов ГЕКСЕ (кресты) и «Пульсар X-1» (ромбы) в январе 1988 г. Для сравнения с экспериментальными данными приведена теоретическая кривая, рассчитанная ходом Монте-Карло. Источником жестких фотонов является распад Co-56, который распределен во внутренних 8М вещества оболочки*

*Spectrum of hard X-ray radiation of the Supernova in the Large Magellanic Cloud by the data of observations aboard the Kvant module by telescopes Hexe (crosses) and Pulsar X-1 (rhombuses) in January, 1988. The theoretic curve calculated by Monte-Carlo method is given for the comparison with the experimental data. The source of the hard photons is the decay of Co-56 which is distributed in internal 8 m matter of the envelope*



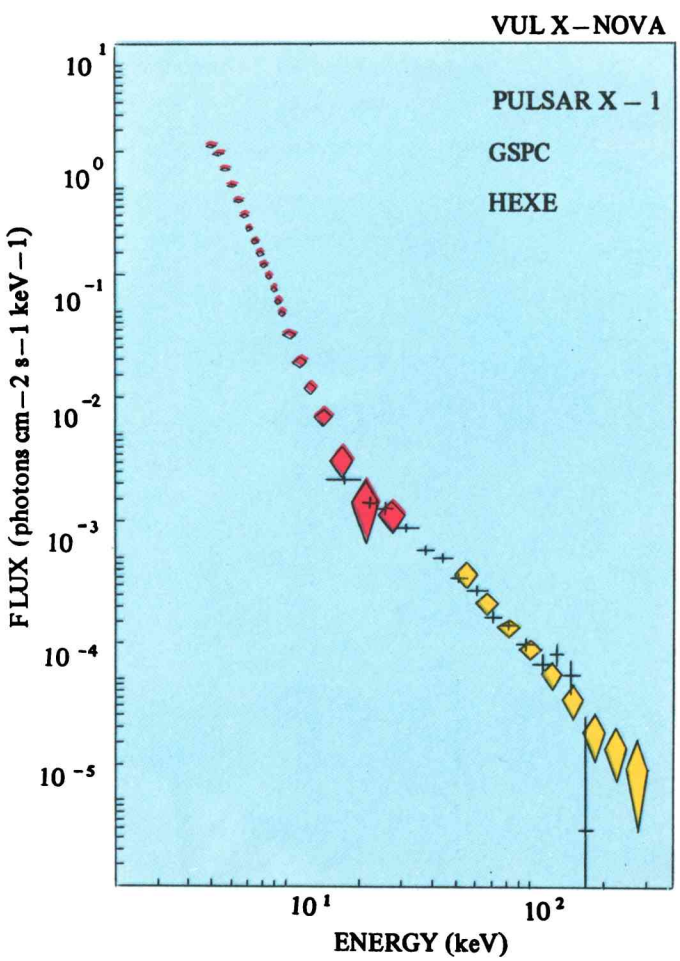

*Участок Большого Магелланова облака 2°.5×8°.5 в рентгеновском диапазоне, построенный по наблюдениям телескопа ТТМ обсерватории «Рентген» в августе 1987 г. Высота пиков пропорциональна значимости детектирования источника*

*The Large Magellanic Cloud region 2.°5×8.°5 in the X-ray range plotted by the observations of the TTM telescope of the Rœntgen observatory in August, 1987. The height of the peaks is proportional to the significance of the source detection*



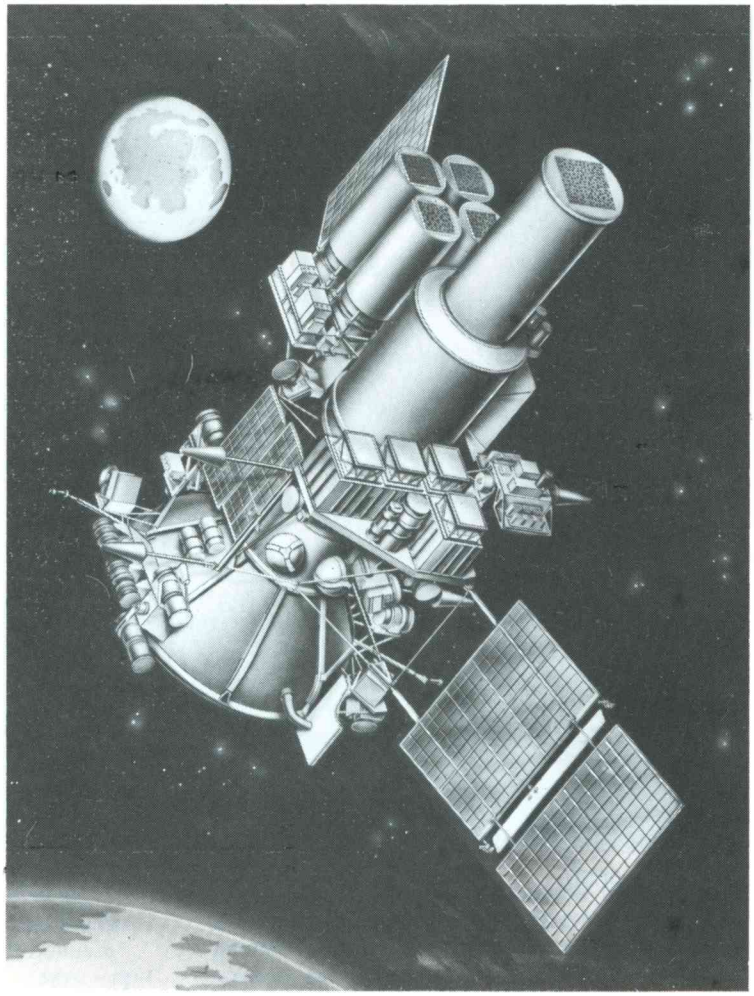

*Результаты определения периода пульсаций рентгеновского источника Геркулес X-1 различными телескопами в 1972—1988 гг. Последние наблюдения на модуле «Квант» показывают, что нейтронная звезда вошла в режим квазистационарного ускорения, аналогичный наблюдавшемуся в 1972—1978 гг.*

*The results of the determination of the period of X-ray source Hercules X-1 pulses by various telescopes in 1972-1988. The last observations aboard the Kvant module show that the neutron star enters the mode of the quasistationary acceleration similar to that observed in 1972-1978*




*Спектр излучения рентгеновской новой в созвездии Лисичка по данным трех приборов обсерватории «Рентген»: ГСПС (17 мая 1988 г.); двух детекторов прибора ГЕКСЕ (15 мая, 4, 6 и 8 июня); одного из детекторов прибора «Пульсар X-1» (15 мая и 4—8 июня). Наблюдаемый спектр состоит из двух компонент: мягкой с температурой 20 миллионов градусов и жесткой, свидетельствующей о температурах порядка миллиарда градусов*

*The spectrum of the radiation of X-ray Nova in the Fox by the data of three instruments of the Rœntgen observatory: GSPS (May, 17. 1988); two detectors of the HEXE instrument (May, 15, June, 4, 6 and 8); one of the detectors of the Pulsar X-1 instrument (May, 15 and June, 4-8). The observed spectrum consists of two components: soft with the temperature of 20 million degrees and hard with the temperature of the order of milliard degrees*

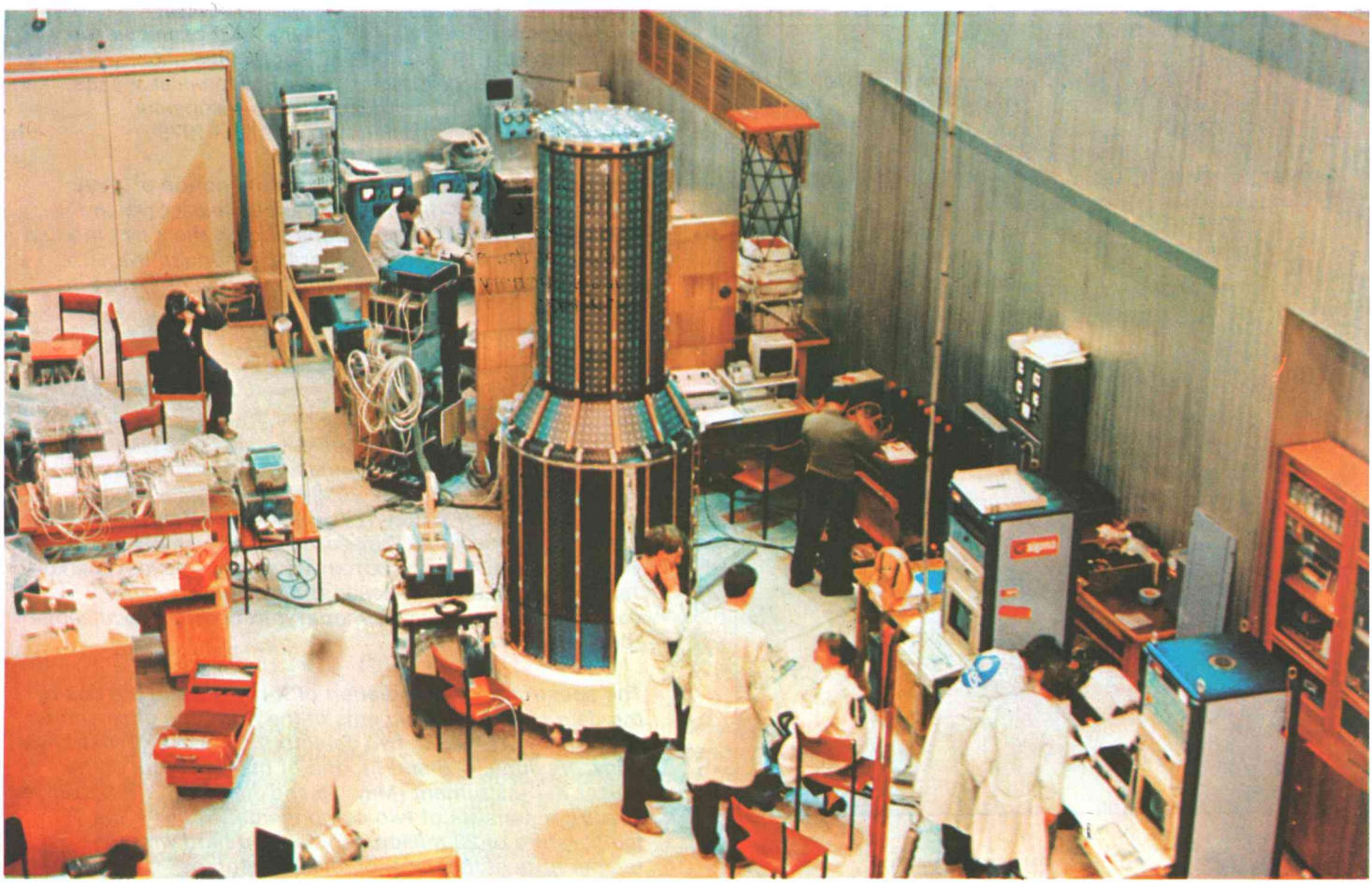


*Космический аппарат «Гранат»*

*Granat spacecraft*

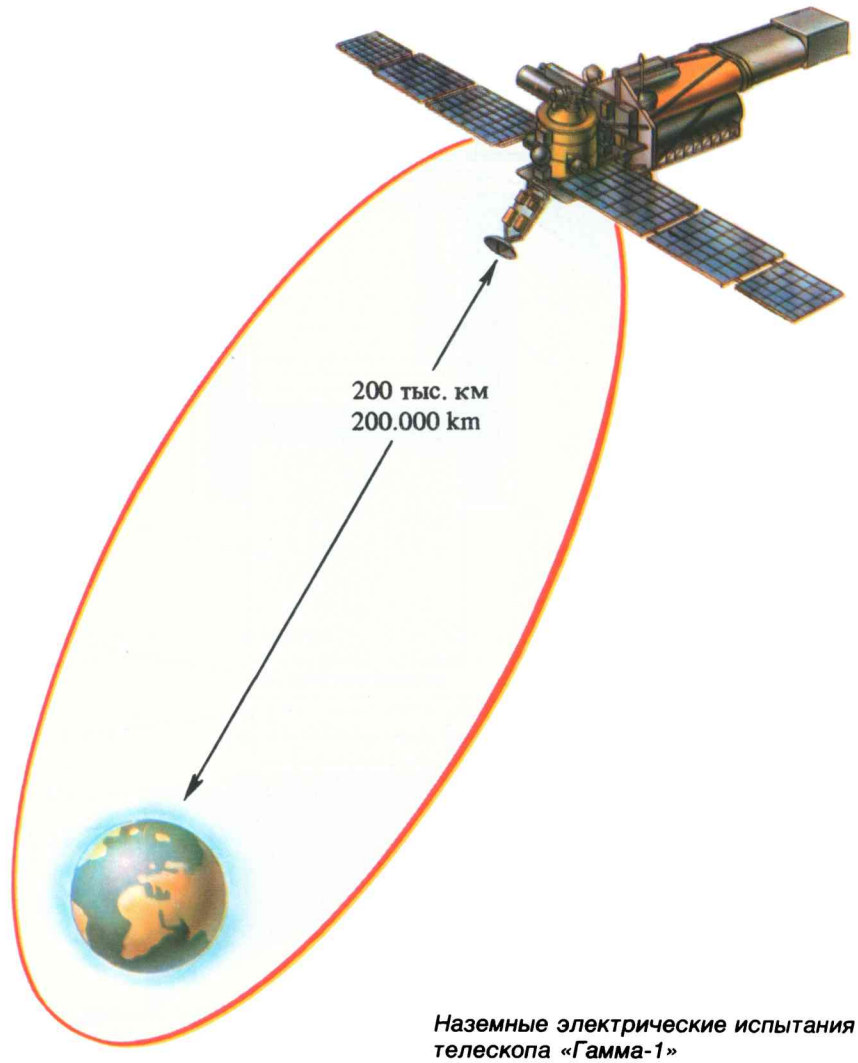
*Наземные электрические испытания научной аппаратуры обсерватории «Гранат»*

*Ground-based electrical tests of the Granat observatory scientific instruments*



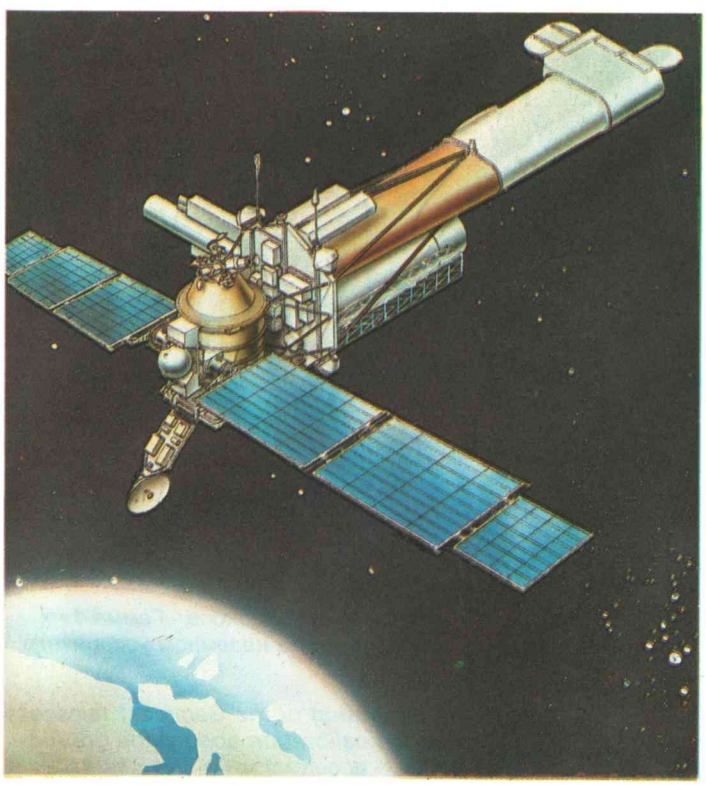
*Спутник-обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма» выводится на высокоапогейную эллиптическую орбиту*

*Spektr-Roentgen-Gamma is launched into high apogee elliptic orbit*



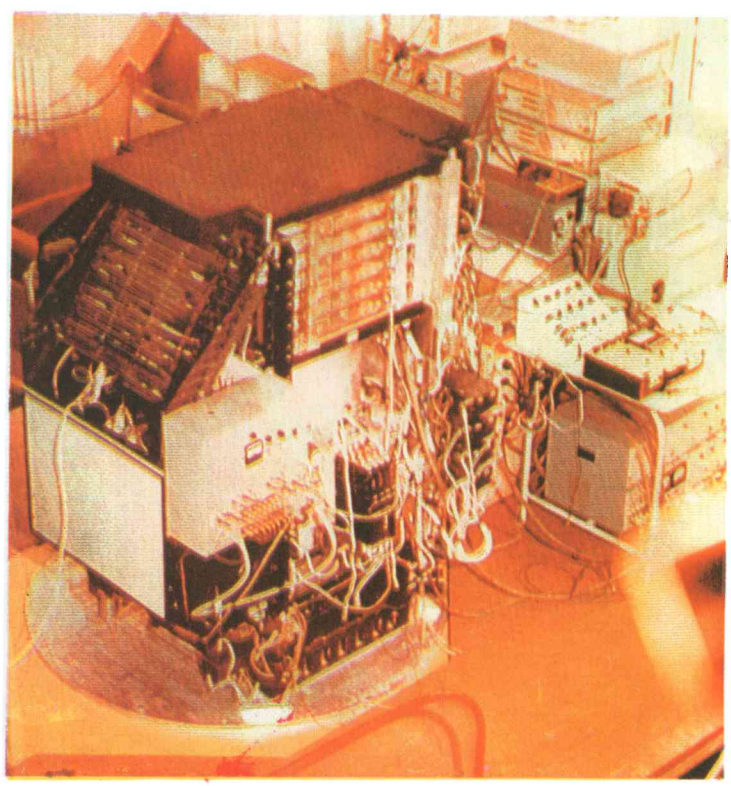

*Космический аппарат «Спектр-Рентген-Гамма»*

*Spektr-Roentgen-Gamma spacecraft*



*Наземные электрические испытания телескопа «Гамма-1»*

*Ground-based electric tests of the Gamma 1 telescope*



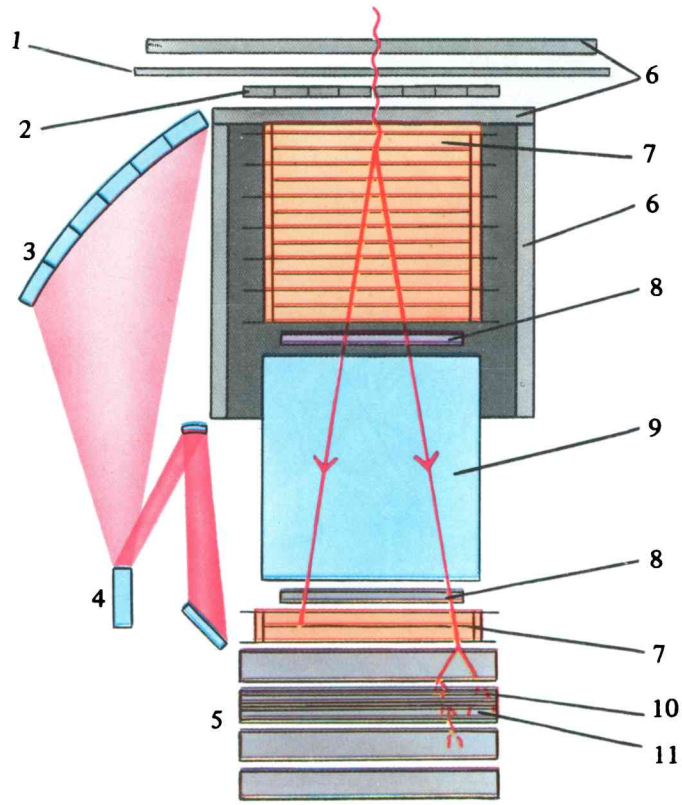
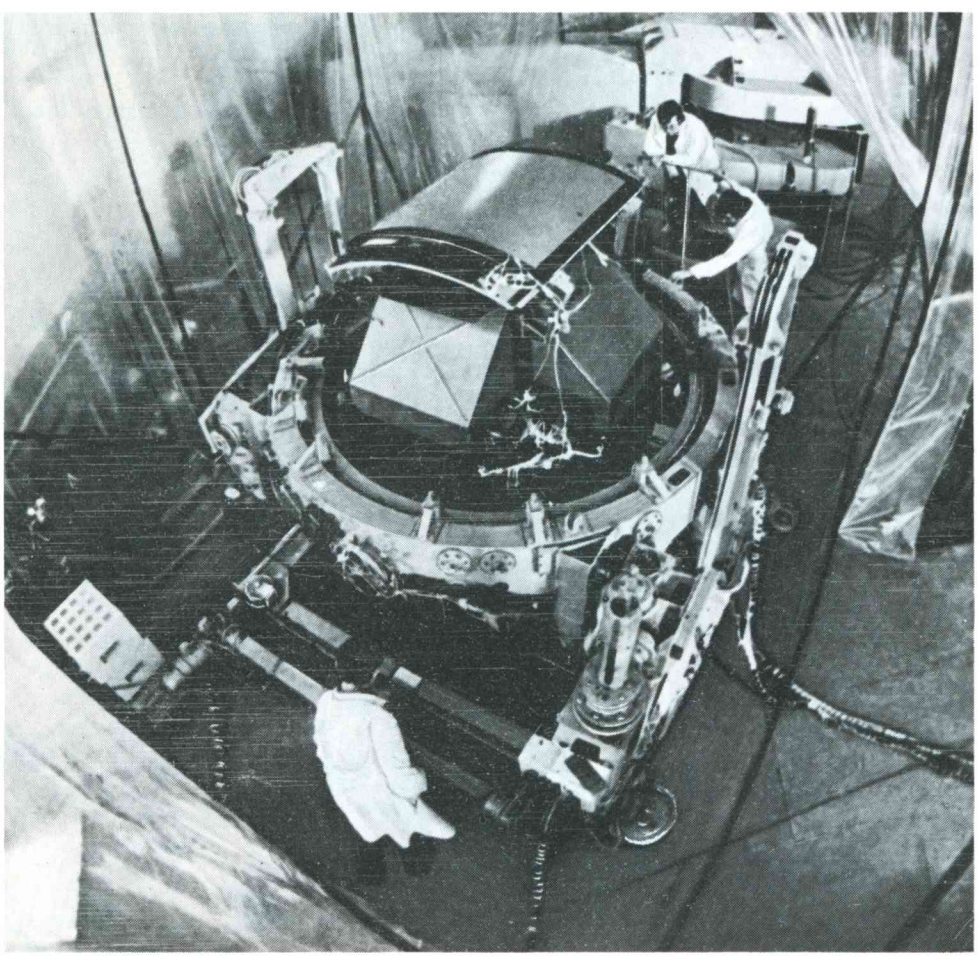


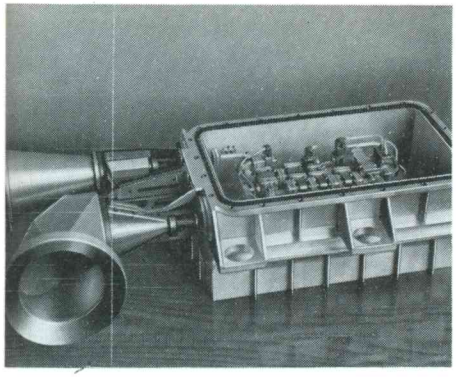

*Схема телескопа «Гамма-1»:*
1 — обшивка космического корабля;
2 — теневой экран; 3 — система зеркал;
4 — видикон; 5 — калориметр;
6,8 — сцинтилляционный счетчик антисовпадений; 7 — искровая камера; 9, 11 — внутренний сцинтилляционный счетчик
10 — черенковский счетчик.

*Gamma 1 telescope:*
1 — spacecraft covering; 2 — shadow screen;
3 — mirror system; 4 — vidicon;
5 — calorimeter; 6 — scintillation counter of anticollisions; 7 — spark chamber;
8 — scintillation counter of anticollisions;
9 — internal scintillation counter;
10 — Cherenkov counter; 11 — internal scintillation counter.



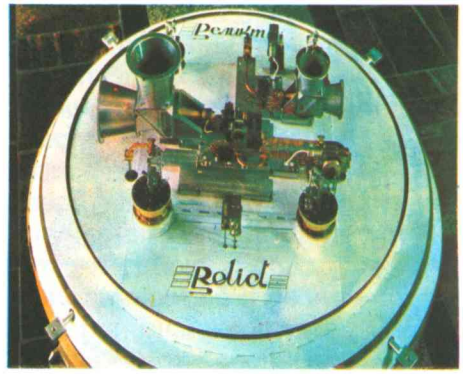
*Подготовка телескопа «Гамма-1» к калибровке на наземном ускорителе «Пахра»*

*Preparation of the Gamma 1 telescope to the calibration aboard the ground-based accelerator Pakhra*



*СВЧ-блок радиометра для исследования анизотропии реликтового излучения. Прибор работал на автоматической станции «Прогноз-9»*

*Microwave module of the radiometer for investigating the anisotropy of relict radiation. The device was flown on-board Prognoz 9 spacecraft.*

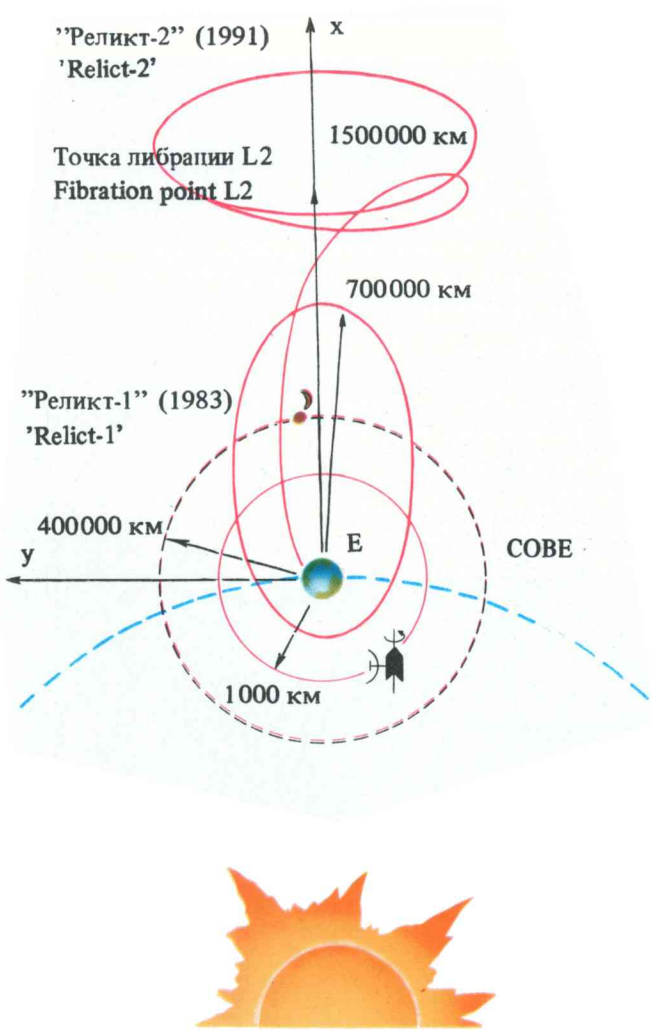



*Внешний вид телескопа «Реликт-2»*

*External view of the Relict 2 telescope*

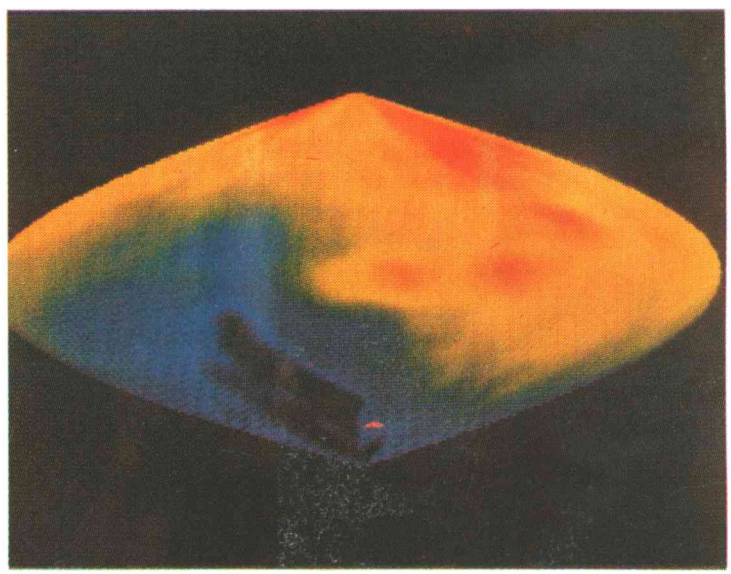
*Орбита космического аппарата (проект «Реликт-2») в окрестности центра либрации $L_2$*

*The orbit of the spacecraft (Relikt 2 project) in the vicinity of the libration centre $L_2$*



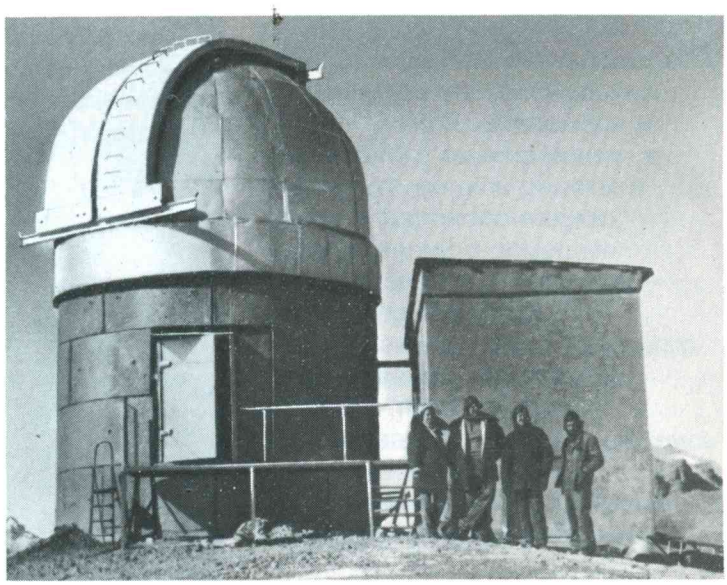

*Карта неба, полученная в диапазоне 8 мм в эксперименте «Реликт-1»*

*Sky map obtained within the range of 8 mm in the Relikt 1 experiment*



*Субмиллиметровый телескоп на Памире*

*Submillimeter telescope in the Pamir Mts*



# ПРИКЛАДНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

# APPLIED SPACE RESEARCH

С конца 60-х — начала 70-х гг. в развитии космических исследований обозначилось новое направление, связанное с использованием космической техники для изучения нашей собственной планеты, наблюдения за состоянием природной среды, организации рационального природопользования.

Since the end of the '60s — the beginning of the '70s a new trend in the development of space research has been forming which is associated with application of new space technologies to study our own planet, to observe the state of the natural environment, to arrange a rational use of nature resources.

Анализ первых фотографий поверхности Земли, сделанных с орбиты, показал научную и практическую эффективность космической съемки. Особенно большой информативностью обладает многозональная фотосъемка.

В рамках программы «Интеркосмос» ИКИ АН СССР совместно с народным предприятием «Карл-Цейс-Йена» (ГДР) были разработаны многозональный космический фотоаппарат МКФ-6 и многоканальный проектор МСП-4, предназначенный для синтеза цветных изображений из зональных снимков. В сентябре 1976 г. были проведены успешные летно-конструкторские испытания МКФ-6 на космическом корабле «Союз-22». В ходе полета было получено более 2500 многозональных снимков земной поверхности.

Доработанный по результатам лабораторных исследований и летно-конструкторских испытаний аппарат МКФ-6М и проектор МСП-4Б с 1977 г. серийно изготавливаются промышленностью и успешно эксплуатируются во многих научных и производственных организациях СССР и за рубежом.

В космических исследованиях Земли важную роль играют так называемые оперативные методы сбора и обработки информации. В отличие от методов космического фотографирования они позволяют получать информацию о земной поверхности в глобальном масштабе с периодичностью, недоступной другим средствам. Это обеспечивает изучение таких динамических явлений и процессов, как сезонные изменения ландшафтов, сход снежного покрова, развитие дельт рек, распределение твердого речного стока в водоемах, контроль состояния сельскохозяйственной растительности, хода сельскохозяйственных работ.

Оперативные данные представляют собой важнейшую составляющую космических методов изучения земной поверхности, наблюдения за состоянием окружающей среды и рационального природопользования.

Для получения оперативной видеоинформации в мировой практике наиболее широко применяются многозональные системы оптического сканирования, сочетающие достаточную детальность наблюдения с высокой радиометрической точностью. Информация, получаемая системами такого типа, передается по каналам космической связи на наземные приемные пункты и регистрируется специальными устройствами в виде многозональных снимков или цифровых магнитных видеозаписей. Для обработки результатов съемки применяются как традиционные визуально-инструментальные методы, так и цифровые, реализуемые с помощью ЭВМ. Открываются широкие перспективы автоматизации процессов обработки поступающей со спутников информации. Это необходимый шаг на пути создания оперативной системы исследований Земли из космоса.

Совершенствуя оптико-электронные методы исследования Земли из космоса, специалисты ИКИ АН СССР совместно с рядом других советских и зарубежных организаций разработали многозональную сканирующую систему (МСС) «Фрагмент» и успешно провели натурный эксперимент на ИСЗ «Метеор». МСС «Фрагмент» позволяет получать с высокой радиометрической точностью оперативную многозональную видеоинформацию, отображающую с хорошим пространственным разрешением быстро протекающие изменения объектов земной поверхности в видимой и ближней инфракрасной области спектра. Съемка выполняется в 8 диапазонах видимой и ближней инфракрасной области спектра с разрешением 85 м при полосе обзора около 90 км. Оперативность, возможность получения снимков одного и того же района с определенной периодичностью в разное время года, при разных углах Солнца — вот основные достоинства системы «Фрагмент». Они позволяют использовать ее наиболее эффективно для исследований в интересах сельского хозяйства и наук о Земле.

С помощью МСС «Фрагмент» получен значительный объем информации, обследованы миллионы квадратных километров земной поверхности (европейская часть территории СССР, территории Болгарии, ГДР, Румынии и Чехо-Словакии).

Наибольший успех в изучении Земли из космоса достигается при использовании средств космической техники в сочетании с исследовательскими самолетами-лабораториями, позволяющими обследовать сравнительно небольшие районы, отрабатывать космическую аппаратуру, уточнять и детализировать полученную из космоса информацию.

ИКИ АН СССР провел большую работу по созданию таких лабораторий на базе самолетов различного класса.

Наряду с разработкой методов и аппаратуры многозональных съемок Земли из космоса и оптического сканирования в Институте велись работы в области аэрокосмических исследований с помощью радиофизических методов — радиоокеанографии, гидрофизики и дистанционного зондирования атмосферы, включая теоретические исследования. Разрабатывались исходные данные для различных научных программ, создавались спектральные и

панорамные приборы дистанционного зондирования атмосферы и земной поверхности, выполнялись лабораторное моделирование и натурные самолетные и спутниковые испытания.
В Институте имеется ряд лабораторий, задачей которых является проведение фундаментальных исследований в области обработки аэрокосмической информации, получаемой при проведении аэрокосмических исследований по изучению природных ресурсов и дистанционному зондированию, а также координация исследований по этим проблемам в рамках научной программы АН СССР и ГКНТ СССР. В задачи лабораторий входит также проведение теоретических и экспериментальных исследований по определению связи радиационных и предметно-специфических характеристик природных объектов, выполнение тематической обработки информации на специализированных вычислительных комплексах.
Проведены фундаментальные исследования системы «атмосфера — поверхность» с целью создания и экспериментальной проверки физически обоснованных и математически строгих методов дистанционного определения полного комплекса оптических параметров естественных поверхностей (в том числе поверхности океана), атмосферы и облаков. На основе этих методов совместно со специалистами ИКИ АН ГДР разработаны многоканальные спектрометры МКС, которые были установлены на спутниках «Интеркосмос-20 и -21». После успешных испытаний этой аппаратуры и методов дистанционного зондирования системы «атмосфера — поверхность» были разработаны модифицированные спектрометры МКС-М, которые в 1983—1985 гг. работали на борту станции «Салют-7» совместно с многоканальной фотокамерой МКФ-6М.
Результаты этих экспериментов подтвердили высокую эффективность методики и аппаратуры МКС-М, обеспечивающих одновременное определение в безоблачных условиях коэффициентов спектральной яркости различных типов земной поверхности, а также спектральное и вертикальное распределения оптической толщины атмосферы со среднеквадратичной ошибкой 15—20% в диапазоне изменений этих параметров на порядок величины.
В облачных условиях методика и аппаратура обеспечили определение высоты верхней границы и оптической толщины облаков, а также коэффициентов удельного поглощения солнечной радиации облачными частицами.
Обнаружено повышение этих коэффициентов на 2—3 порядка по сравнению с аналогичными величинами для капель чистой воды и льда, что может быть связано с загрязнениями облаков и выделением «кислых» осадков.
На основе материалов эксперимента с аппаратурой МКС-М и фотокамерой МКФ-6М была разработана методика абсолютной калибровки фотоснимков с высокой фотометрической точностью. Это позволило повысить информативность снимков, осуществить объективный контроль видеоинформации, обеспечило возможность ее автоматической обработки.
Результаты экспериментов с МКС-М и МКФ-6М показали, что практически вся полученная информация может использоваться для решения широкого круга научно-исследовательских, народнохозяйственных и технических задач:
— изучение процессов преобразования солнечной радиации в системе «океан — атмосфера — облака»;
— определение пространственно-временных распределений антропогенного аэрозоля локального и глобального масштабов;
— оперативный учет влияния атмосферы при изучении природных ресурсов.
Измерения прямой солнечной радиации с помощью аппаратуры МКС-М (эксперимент «Оккультация») позволили определить характеристики спектрального пропускания иллюминаторов станции, что обеспечило учет этих характеристик при обработке всей информации, полученной в эксперименте МКС-М.
В эксперименте «Оккультация» были получены вертикальные распределения содержания озона и аэрозоля в стратосфере, обнаружившие антикорреляцию между этими веществами, что позволяет объяснить наблюдавшиеся ранее аномалии в полосе поглощения озона в ИК-диапазоне спектра 9,6 мкм. Аномалия состояла в том, что в летний период в этой полосе было обнаружено слабое поглощение солнечной радиации при большом содержании озона и сильное поглощение при малом содержании озона. Такая аномалия обусловлена тем, что поднимающиеся в стратосферу антропогенные газы вступают в реакцию с озоном, в результате чего содержание озона уменьшается, но образуется аэрозоль, поглощающий солнечную радиацию. Этот процесс ведет к образованию озонных дыр.
Анализ результатов эксперимента МКС-М, включавший также сравнение материалов одновременных дистанционных и подспутниковых измерений на наземных платформах, подтвердил приведенные выше оценки точности и надежности методики и аппаратуры дистанционного определения комплекса параметров в

различных условиях системы «атмосфера — поверхность». Это позволяет сделать вывод о превосходстве методов по сравнению с зарубежными аналогами, которые требуют многих априорных предположений о состоянии поверхности и атмосферы, не поддающихся проверке из космоса. Например, методика определения коэффициентов спектральной яркости океана, разработанная в США, основана на предположении, что этот коэффициент в красной области спектра равен нулю, что верно лишь для чистой и спокойной поверхности, а методика учета влияния атмосферы предусматривает использование оптических моделей, реализация которых не может быть проверена из космоса. Полученные результаты послужили основанием для использования методики и аппаратуры МКС-М как в служебных космических системах, так и для дальнейшего развития исследований Земли из космоса. В настоящее время эти исследования осуществляются по проекту «Космометрия». («Геосистема») и в рамках эксперимента «Обзор», входящего в проект «Природа». Проект «Космометрия» включает в себя эксперименты с аппаратурой МКС-М, которая перевезена со станции «Салют-7» на станцию «Мир» и успешно функционировала в 1988 г. На станцию «Мир» также доставлен комплекс аппаратуры МКС-М2, которая была установлена на поворотной платформе АСП-Г вместе с инфракрасным телеспектрометром ИТС-7Д и другой аппаратурой. В рамках эксперимента «Обзор» в ИКИ АН ГДР с учетом результатов эксперимента МКС-М была начата разработка модульного оптического зонда (МОЗ), обеспечивающего пространственный охват площади 100—150 км$^2$.

Эксперимент «Обзор» включает также создание бортового вычислительного устройства (БВУ) для обработки информации.
Научная программа проекта «Космометрия» на станции «Мир» предусматривает усовершенствование методов дистанционного определения комплекса физических параметров земной поверхности, океана и атмосферы с целью существенного повышения их точности и надежности на основе сочетания измерений спектральных и угловых распределений яркости и собственного излучения Земли. Предусмотрена также разработка методов бортовой обработки информации, полученной в эксперименте МКС-М2, с помощью специального вычислительного устройства, включенного в комплекс аппаратуры станции «Мир».
Комплекс обеспечит: сжатие большого объема информации и передачу ее на наземные станции без потерь; автоматическое использование данных спектральной яркости, получаемых с помощью аппаратуры МКС-М2, для оперативного определения выдержки многоканальных фотоаппаратов в различных условиях системы «атмосфера — поверхность»; оперативное разделение облачных и безоблачных условий при проведении фотосъемки земной поверхности.
Важным разделом программы проекта «Космометрия» является оперативное получение информации об антропогенных примесях над промышленными районами, в том числе над подспутниковыми полигонами СССР, Германии, Польши, Чехо-Словакии. Наведение аппаратуры МКС-М2 должно обеспечиваться сканирующей платформой, позволяющей отслеживать исследуемые объекты в течение длительного времени.

Сочетание аппаратуры МКС-М, МКФ-6М с ИК-спектрометром обеспечивает изучение аэрозольных и газовых примесей в атмосфере и океане, а также определение температуры поверхности океана (ТПО) и вертикальных профилей температуры атмосферы.
Подобные задачи исследований одновременно в оптическом и ИК-диапазонах спектра решались ранее на спутнике «Космос-1151». На этом спутнике впервые был использован спектрально-угловой метод термического зондирования, разработанный в ИКИ АН СССР, и многоканальный ИК-радиометр, обеспечивающий измерения теплового излучения Земли в 10 участках ИК-диапазона спектра при 3-х углах визирования. Эти измерения, которые проводились в комплексе с СВЧ-измерениями, позволили определить температуру поверхности с погрешностью 1°.
Проводятся работы по повышению точности измерений с помощью упомянутых выше методов дистанционного определения полного комплекса физических параметров атмосферы и поверхности. Эти методы и аппаратура должны обеспечить получение космической информации, необходимой для решения комплексной проблемы сохранения окружающей среды, климата и природных ресурсов.
Важное прикладное значение имеют выполненные в Институте фундаментальные исследования в области геофизической гидродинамики. Эти исследования ведутся по двум основным направлениям. Первое — поиск физических первопричин таких природных катастрофических явлений, как тайфун, циклон, торнадо, с целью разработки методики раннего прогноза образования подобных структур в атмосфере. Второе — выделение процессов, наиболее подходящих с точки

зрения изучения природы различных аномальных явлений в атмосфере, океане и ионосфере.
На первом направлении сотрудниками ИКИ АН СССР был открыт новый принцип генерации структур, основанный на так называемом спиральном механизме. За счет, например, вращения Земли возникает средняя корреляция между скоростью турбулентных движений и вихрем скорости. Это, в свою очередь, приводит к генерации крупномасштабных вихрей типа тайфунов.
Построена теория начальной стадии развития таких структур, предложены методики обнаружения районов тропической депрессии. При этом найдена также связь между фронтальной размерностью изолиний температуры облачных структур со степенью извилистости этих изолиний и возможностью образования тайфунов.
Результаты обработки инфракрасных изображений облачности, полученных с японских геостационарных спутников, дают удовлетворительное совпадение с предложенной моделью.
Что касается второго направления, то, прежде всего, следует отметить разработку теории усилительных механизмов волновых процессов. Использование этой теории повышает диагностические возможности при исследовании различных геофизических явлений.
С участием сотрудников Института выполняются также многочисленные спутниковые эксперименты с использованием гамма- и рентгеновской аппаратуры с целью анализа радиационной обстановки различных районов земной поверхности.
К важным фундаментальным и прикладным направлениям космических исследований, выполняемых ИКИ АН СССР, относятся и работы в области космического материаловедения.
В Институте ведутся теоретические, экспериментальные, инженерно-технические и научно-организационные работы широкого профиля, направленные на исследование физических явлений в условиях микрогравитации, изучение особенностей процессов получения материалов в космосе, а также структуры и свойств этих материалов.
Перспективным практическим выходом работ по космическому материаловедению является получение различных материалов с улучшенными характеристиками, а также предложения для совершенствования земной технологии.
Основными направлениями исследований в области космического материаловедения, выполняемых в Институте, являются: изучение особенностей кристаллизации различных, в том числе полупроводниковых, материалов из жидкой и газовой фаз (из расплава, из раствора, из раствора в расплаве; с использованием капиллярных сил; методом газотранспортных реакций) в условиях микрогравитации; изучение процессов затвердевания расплавов различных композиционных материалов, аморфных систем в условиях микрогравитации; изучение различных физических процессов (конвекции, диффузии, тепломассопереноса, переохлаждения и т. д.) в жидкой и газовой фазах при различных уровнях гравитации и их роли при получении материалов в космосе; изучение влияния микрогравитации на кристаллизацию из растворов и расплавов при достаточно низких (близких к комнатным) температурах, в частности при явлениях массовой кристаллизации.
Объектами исследований являются полупроводниковые материалы, металлы, сплавы, композиционные материалы, стекла, дисперсные материалы и др.
Одним из важных направлений работ, выполненных в Институте, является также исследование особенностей получения материалов в условиях повышенной гравитации (в экспериментах на центрифугах, позволяющих более глубоко понять роль гравитации в технологических процессах и получении материалов с улучшенными свойствами).
Большое внимание уделяется и работам по исследованию структурного совершенства полученных в космосе и на Земле образцов с использованием таких новейших методов, как электронное каналирование и обратное рассеяние ионов, а также рентгеновская дифрактометрия с анализом результатов на ЭВМ, электронная, оптическая и сканирующая микроскопия.
Облучение полупроводниковых космических материалов тяжелыми ионами позволяет, например, получать радиационные эффекты, которые приводят к разупорядочению кристаллической структуры и ее аморфизации в зависимости от энергии и дозы облучения, что может послужить основой перспективного направления — радиационно-космической технологии.
Специалисты Института принимают активное участие в создании специализированной аппаратуры для проведения технологических экспериментов. В большинстве случаев эти работы проводятся в тесном сотрудничестве с учеными других стран.
Показательной в этом отношении можно считать разработанную совместными усилиями ученых Чехословакии и специалистов из ИКИ АН СССР технологическую установку нового поколения «Кристаллизатор». По целому

ряду параметров — точности измерения и поддержания температуры, диапазону скоростей перемещения образцов, возможностям регистрации данных и контроля проведения экспериментов — она превосходит зарубежные аналоги. Установка снабжена микропроцессором и может работать полностью в автоматическом режиме по программе, записанной на магнитной ленте. Информация о ходе эксперимента, включая температуру нагревателей, показания акселерометров и т. д., записывается на той же магнитной ленте. При этом данные об уровне микроускорений и ходе серии экспериментов могут поступать на Землю в реальном масштабе времени.

Лабораторией космического материаловедения Института создан специальный комплекс наземной отработки экспериментов, планируемых к проведению в космосе с использованием установки «Кристаллизатор».

Для автоматического контроля температуры рабочей зоны технологических установок совместно со специалистами ГДР был разработан прибор АРП (автоматический регистратор параметров).

Еще одна технологическая установка — «Раствор» — создана на основе кооперации советских и польских специалистов. Она предназначена для исследования процессов низкотемпературной кристаллизации из растворов и изучения перспективных методов получения ценных в практическом отношении кристаллов.

Совместно с учеными из ряда других стран начата разработка ряда новых технологических установок для работы на борту автоматических космических аппаратов.

Успехи, достигнутые космической технологией, уже сегодня позволяют строить оптимистические прогнозы. Космическая технология может и должна стать новой отраслью современного производства. Перспективы у нее самые заманчивые: отделение тех или иных органических веществ от смесей; выращивание сложных полупроводниковых кристаллов с совершенной структурой; получение особо прочных композиционных материалов и сплавов с уникальными магнитными и сверхпроводящими свойствами, покрытий, устойчивых против коррозии; бестигельное плавление стекол для лазеров и многое, многое другое.

По-видимому, еще какое-то время работы в области космической технологии будут носить в большей степени научно-исследовательский и опытно-конструкторский характер. Тем не менее, тщательно продуманная и четко спланированная программа может значительно сократить чисто исследовательский период. Фундаментальные же исследования в области космического материаловедения никогда не потеряют своей актуальности и всегда будут мощным рычагом развития как земной, так и космической индустрии.

The analysis of first photographs of the Earth's surface taken on orbit has shown scientific and practical efficiency of space photography. Multiband photography is characterized by particularly great informativity.

A multiband photographic camera, model MKF-6, and a multichannel false colour combiner, model MSP-4, for synthesizing false colour images from single-band photographs have been developed by SRI of the USSR AS in co-operation with the People's enterprise Carl Zeiss Jena (the GDR) within the framework of the *Intercosmos* program. Flight testing of MKF-6 was performed successfully on board the spacecraft *Soyuz 22* in September 1976. In the course of the flight more than 2500 multiband photographs of the earth surface have been taken. MKF-6M and MSP-4B improved as a result of laboratory work and flight testing have been serially manufactured since 1977 by the industry and operated with success in many scientific and industrial organizations in the USSR and abroad.

The so-called fast methods of data acquisition and processing play an important role in space research of the Earth. In contrast to methods of space photographing they enable getting information on the earth surface on a global scale with a periodicity that cannot be achieved by other methods. That ensures studies of such dynamic processes as seasonal changes of landscapes, the coming off of the snow cover, development of river deltas, distribution of solid river run-off in water reservoirs, control of the state of agricultural vegetation, the course of agricultural works, etc. Fast data are the most important component of space techniques of studying the Earth surface, surveying the state of the environment and reasonable use of natural resources.

Multiband systems of optical scanning combining sufficiently detailed observations with high radiometric accuracy are widely used in world practice to obtain fast video information.

Information obtained by such systems is delivered through channels of space communication to ground-based receiving stations and is recorded by special devices in the form of multiband photographs or digital magnetic video recording. To process the obtained results both conventional visual-instrumental methods and digital ones implemented by means of computers. Wide prospects open up for computerization of information delivered from satellites. This is a necessary

step towards creation of the fast system of investigating the Earth from space.

Improving further optoelectronic methods of studying the Earth from space, specialists of the SRI of the USSR AS jointly with some other Soviet and foreign institutions have developed a multiband scanning system (MSS) *Fragment* and have carried out a successful full-scale experiment on the *Meteor* satellite. The MSS *Fragment* makes it feasible to get fast multiband video information with high radiometric accuracy, illustrating rapidly projecting changes in the objects on the earth's surface with a good spatial resolution in the visible and near infrared regions of the spectrum. Photographing is done in 8 ranges of the visible and near infrared regions of the spectrum with a resolution of 85 m at a survey band of 90 km. Fast delivery of images and the possibility of producing images of the same region with a certain periodicity during the year at different Sun's angles are the major advantages of the *Fragment* system, that makes it possible to use it most efficiently for the benefit of agriculture and Earth sciences.

By means of the MSS *Fragment* a substantial amount of information has been obtained, millions of square kilometers of the Earth territories have been surveyed (the European part of the USSR, the territories of Bulgaria, the GDR, Rumania, Czechoslovakia).

The greatest success in the study of the Earth from space is ensured by utilizing space technology in combination with research aircraft-laboratories to survey comparatively small areas, to optimize space-borne equipment, to specify and verify the information received from space.

The Institute has contributed greatly to the development of air-borne laboratories on the base of planes of different classes.

Alongside the development of methods and equipment for multiband imaging of the Earth from space and optical scanning, the Institute conducted research work in the field of aerospace remote sensing using radiophysical methods: radio oceanography, hydrophysics and remote atmospheric probing, theoretical investigations included. Initial data for various research programmes were prepared, spectral and panoramic devices for remote probing of the atmosphere and earth surface were developed, laboratory simulation and full-scale air- and space-borne tests were carried out.

In the Institute there are some laboratories the goal of which is to fulfil fundamental research in the domain of processing aerospace information gained in aerospace investigations on studying natural resources and remote sensing, as well as to co-ordinate theoretical and experimental research in ascertaining relations of radiation and object-specific characteristics of natural objects, to perform thematic processing of video information with special-purpose computer complexes.

Fundamental investigations of the system "atmosphere-surface" were fulfilled with an aim to develop and verify experimentally physically substantiated and mathematically rigorous methods of remote determination of a whole set of optical parameters of natural surfaces (the surface of oceans included), of the atmosphere and clouds. Multichannel spectrometers MKS were created jointly with specialists from the SRI of the GDR AS using these methods and then they were deployed on the satellites *Intercosmos 20 and 21*. After successful tests of the instrumentation and methods of remote probing the system "atmosphere-surface", modified spectrometers MKS-M were developed that in 1983—1985 worked on board the spacecraft *Salyut 7* together with a multichannel camera MKF-6M. The results of the experiments have confirmed high efficiency of the procedures and devices MKS-M ensuring simultaneous ascertainment of spectral brightness factors for various types of the earth surface under cloudless conditions as well as spectral and vertical distribution of the atmospheric optical thickness with a mean square error of 15—20% within the range of changes of these parameters by an order of the magnitude.

Under overcast sky conditions the procedure and instrumentation have provided determination of the altitude of the upper border and optical thickness of clouds as well as factors of specific absorption of solar radiation by cloud particles. Compared with similar values for drops of pure water and ice, an increase of these coefficients by 2—3 orders has been found out, that can be related to fouling of clouds and falling out of "acid" precipitation.

A procedure of absolute calibration of photographs with high photometric precision has been developed employing the experimental results with MKS-M and camera MKF-6M. It helped enhance informativity of photographs, control objectively the video information, process it automatically.

The results of the experiments with MKS-M and MKF-6M have indicated that, in fact, all the information obtained can be used for tackling a wide scope of problems in science, national economy and technology:

— studies of processes of transformation of solar radiation in the system "ocean—atmosphere—clouds";

— ascertainment of spatial-time distributions of man-made aerosol on local and global scale;

— effective account of atmospheric effects in studying natural resources.

Measurements of direct solar radiation by means of MKS-M (the experiment *Occultatsiya*) made it possible to determine characteristics of spectral transmission of the station windows and so the characteristics could be taken into account when processing the information obtained during the experiment with MKS-M.

Vertical distributions of ozone and aerosol in the stratosphere have been obtained in the experiment *Occultatsiya,* which discovered anticorrelation between these substances, hence, anomalies earlier observed in the absorption band of ozone within the IR-range of the 9.6 mm can now be explained. The anomaly was in the fact that in the summer period in that band a weak absorption of solar radiation was observed at a large content of ozone and a strong absorption was observed at a low content of ozone. Such an anomaly can be accounted for by the fact that man-made gases rising to the stratosphere undergo a reaction with ozone, hence the ozone content decreases, but aerosol forms absorbing solar radiation. This process leads to formation of ozone holes.

The analysis of the MKS-M experimental results involving correlation of data of simultaneous remote and under-satellite measurements on ground-based platforms as well, has confirmed the above given estimates of accuracy and reliability of the procedure and instrumentation for remote determination of parameters under various conditions of the system "atmosphere—surface". Thus it can be concluded that these procedures are more advantageous as compared with similar methods abroad which require many a priori suppositions about the state of surface and atmosphere that cannot be checked from space. For instance, the procedure for ascertainment of factors of spectral brightness of ocean developed in the USA assumes that the factor in the red region of the spectrum equals nought which is correct only for a clear and quiet surface, and the method of allowing for the influence of atmosphere envisages the use of optical models implementation of which cannot be checked from space.

The results obtained served as a basis for employing the procedure and instrumentation MKS-M both in auxiliary space systems and for further development of research of the Earth from space. Nowadays the investigations are being carried out within the project of socialist countries *Cosmometriya* (Geosistema) and within the scope of the experiment *Obzor* entering the project *Priroda.* The project *Cosmometriya* covers experiments with instrumentation MKS-M which was brought from the station *Salyut 7* to the station *Mir* and it functioned successfully in 1988.

The instrumentation complex MKS-M2 was delivered to the station *Mir,* which was installed on the turntable ASP-G together with the infrared telespectrometer ITS-7D and other instruments. Wilthin the scope of the experiment *Obzor* development of a modular optical probe (MOP) with due account of the results of the experiment MKS-M had been started at the SRI of the GDR AS, the probe will ensure a spatial cover of an area of 100-150 km$^2$. The experiment *Obzor* involves also evolvement of an on-board computer device (OCD) for processing information.

The research programme of the project *Cosmometriya* at the station *Mir* envisages improvement of methods for remote ascertainment of a set of physical parameters of the Earth's surface, ocean and atmosphere with an aim to substantially increase their accuracy and reliability combining measurements of spectral and angular distributions of brightness of the proper radiation of the Earth.

The project envisages also development of methods of on-board processing of information obtained in the experiment MKS-M2 with the help of a special computer device included in the instrumentation complex of the station *Mir.*

The complex will provide: compression of a great amount of information and its delivery to ground-based stations without loss; automatic use of spectral brightness data obtained with the aid of the instrumentation MKS-M2 for fast determination of the exposure of multichannel photographic cameras under different conditions of the system "atmosphere-surface"; fast division of cast-sky and cloudless conditions when taking photographs of the Earth's surface.

An important section of the project programme *Cosmometriya* is fast obtaining of information on man-made impurities over industrial districts, including under-satellite testing grounds of the Germany, Poland, Czechoslovakia.

Guidance of the instrumentation MKS-M2 should be ensured with a scanning platform enabling objects under investigation to be tracked during a long period of time.

Combination of devices MKS-M, MKF-6M with an IR-spectrometer will enable studying aerosol and gas impurities in atmosphere and ocean as well as determination of temperature of the sea surface (TSS) and vertical profiles of atmospheric temperature.

Similar research problems simultaneously in the optical and IR-ranges of the spectrum were tackled previously on the satellite *Cosmos 1151.* A spectral-angular method of thermal probing evolved at the SRI of the USSR AS was first used on that satellite as well as a multichannel IR-radiometer

providing measurements of thermal radiation of the Earth in 10 points of the IR-range of the spectrum at 3 angles of sighting. The measurements taken in the complex with UHF — measurements permitted the surface temperature to be determined with an error of 1°. Works are undertaken to enhance precision of measurements with the aid of the above mentioned methods of remote determination of a full set of physical parameters of the atmosphere and surface. These methods and instrumentation should ensure obtaining space information, necessary to cope with a complex problem of saving the environment, climate and natural resources.

Fundamental investigations in the field of geophysical hydrodynamics fulfilled at the Institute are of great importance. The investigations have two main trends of development. The first one is search for physical initial causes of such nature disasters as typhoons, cyclone, tornado with an aim of evolving a procedure for an early prediction of formation of such structures in the atmosphere. Second is to single out processes the most suitable from the point of view of studying the origin of different anomalous phenomena in the atmosphere, ocean and ionosphere.

Research workers of the SRI of the USSR AS have found a new principle of generation of structures based on the so-called spiral mechanism. For instance, due to the Earth's revolution there appears a mean correlation between the turbulent motion velocity and velocity vortex. This, in its turn, leads to generation of large-scale vortices such as typhoons. A theory of the initial stage of development of such structures has been constructed, techniques for detecting areas of tropical depression have been set forth. A correlation between frontal dimensions of isolines of temperatures of cloudy structures and the extent of curvature of these isolines and probability of typhoon formation was found. The results of processing infrared images of cloudness received from Japanese geostationary satellites yield a good agreement with the proposed model.

As for the second trend, first of all, it is worth noting the evolvement of the theory of amplifying mechanisms of wave processes. The application of the theory enhances diagnostical opportunities when investigating various geophysical phenomena. Research workers of the Institute participate in numerous satellite-borne experiments with application of gamma- and X-ray instrumentation aimed at analyzing a radiation situation in different regions of the Earth's surface.

Important fundamental and applied space research performed at the SRI of the USSR AS involves work in space materials science. The Institute carries out a wide range of experimental, theoretical, engineering and organizational work aimed at investigating physical processes under conditions of microgravity, studying specific features of processes of production of materials in space as well as structures and properties of these materials.

A prospective practical result of work on space materials science is production of various materials with improved characteristics as well as suggestions with respect to improvement of earth technologies.

Major trends of research in the field of space materials science fulfilled at the Institute are as follows: studies of specific features of crystallization of various, semiconductor ones included, materials of liquid and gas phases (from melting, from solution, from solution in melting; with application of capillary forces; by the method of gas transport reactions) under conditions of microgravity; studies of processes of hardening of melts of various composite materials, amorphous systems under conditions of microgravity; studies of various physical processes (convection, diffusion, heat- mass-transfer, overcooling, etc.) in liquid and gas phases at different levels of gravity and their role in producing materials in space; studies of the influence of microgravity upon crystallization out of melts and solutions at sufficiently low temperatures (near to the room temperature), in particular, in phenomena of mass crystallization.

Investigations concern mostly semiconductor materials, metals, alloys, composite materials, glass, disperse materials, etc.

One of the major trends of research work performed at the Institute, is also investigation of specific features of producing materials under conditions of enhanced gravity (in experiments with centrifuges which are to ensure an insight into the role of gravity in technological processes and production of materials with improved properties).

Much attention is drawn to research work on structural perfection of the samples produced in space and on the Earth applying such new methods as electronic channeling and ions backscattering as well as X-ray diffractometry followed by data computer processing, electronic, optical and scanning microscopy. Exposure of semiconductor materials produced in space to heavy ions yields radiation effects that cause disorder in the crystalline structure and its amorphism depending on the energy and dose of irradiation. This phenomenon may serve as a basis for a new prospective trend, namely radiation — space technology.

Researchers of the Institute take an active part in creation of specialized instrumentation for

conducting technological experiments. In most cases work is carried out in close co-operation with scientists from other countries.

Significant in this respect may be regarded a technological set of new generation *Cristallizator* elaborated by joint efforts of scientists from Czechoslovakia and specialists for the SRI of the USSR AS. It surpasses foreign-made analogues in a whole number of parameters such as precision of measurement and temperature maintenance, velocities range of handling specimens, opportunities for data recording and control of carrying out experiments. The set is equipped with a microprocessor and can work in whole in automatic mode according to a taped routine. Information about the course of the experiment, including temperature of heating devices, data of accelerometers, etc. is written on the same tape. Data on the level of microaccelerations and course of a series of experiments may reach the Earth in real time scale.

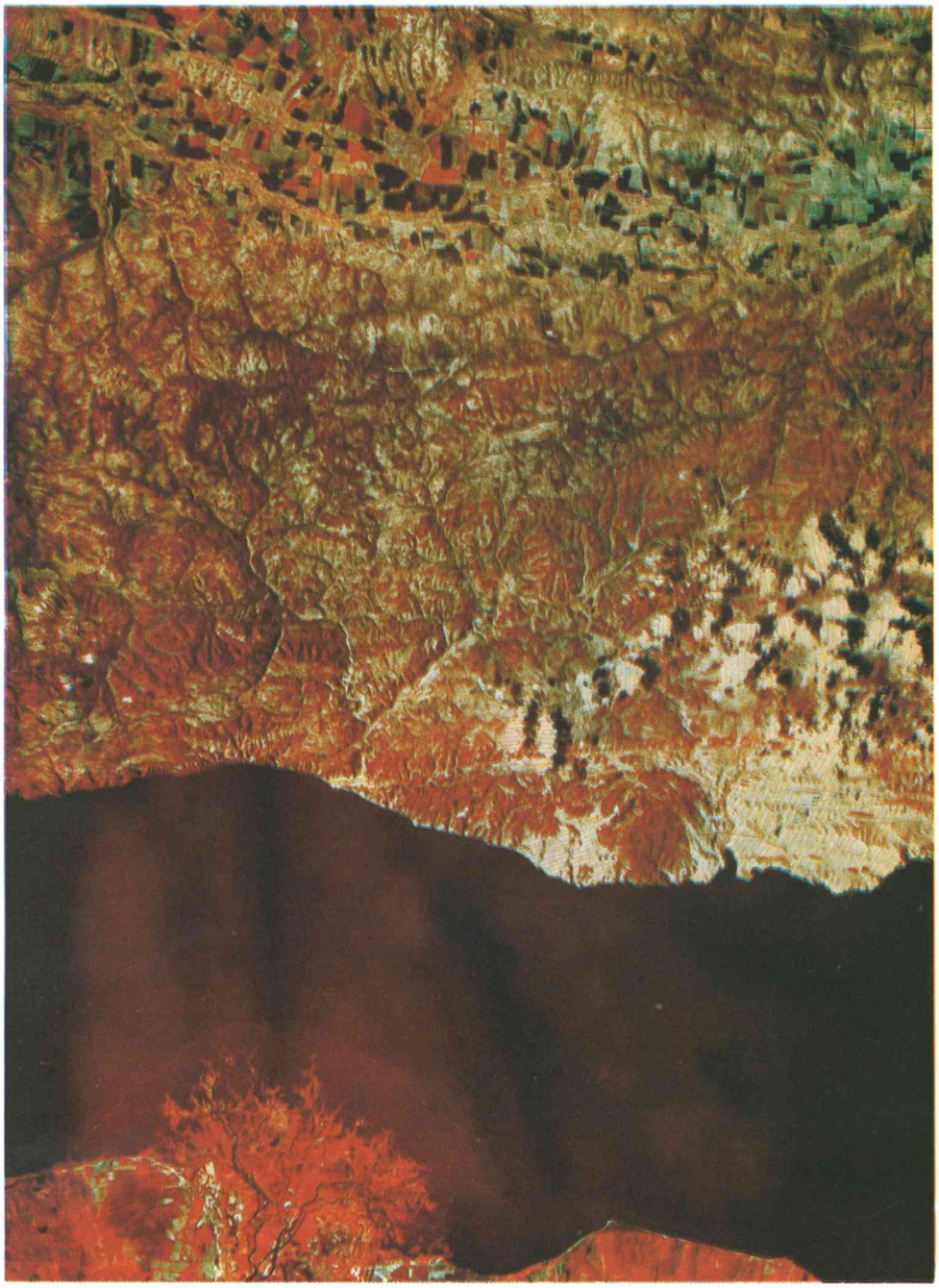
A special set for ground drill of experiments planned to be conducted in space using the set *Cristallizator* has been created by the laboratory on space materials science of the Institute. A device ARP (automatic register of parameters) has been developed jointly with GDR specialists for automatic control of temperature in the working zone of technological sets.

One more technological set—*Rastvor*—has been created as a result of co-operation of Soviet and Polish specialists. It is intended for investigating processes of a low temperature crystallization out of solutions and for studying prospective methods of obtaining valuable in practical respect crystals.

Development of a number of technological sets for work on board automatic space devices has been started in co-operation with scholars from other countries.

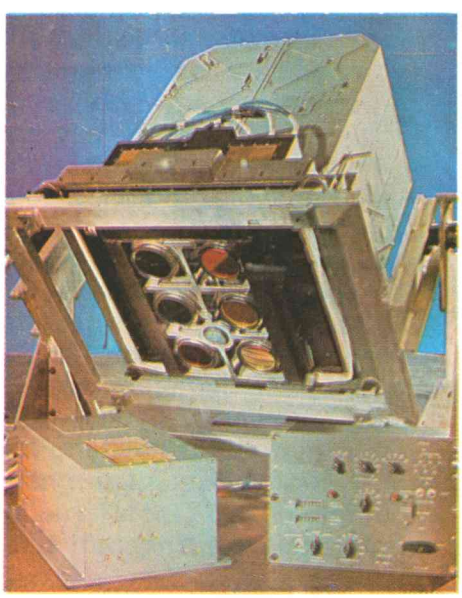
The progress in space technology even now allows us to make optimistic predictions. Space technology can and should become the new branch of modern production. Its perspectives are most tempting: preparation of one or other organic substances from their mixing; growth of semiconductor polycrystals with the perfect structure; production of very firm composites and alloys with the unique magnetic and superconductive properties, corrosion-resistant coatings; grass melting with no use of a crucible for lasers and many many others.

Obviously, for some time the activity in the field of space technology will be, to some extent, of research and development character. Nevertheless, the well thought-out and well planned program can reduce significantly this research period. Fundamental studies in the field of space materials science will always be topical and will always give a powerful impetus to the development of ground-base and space industry.



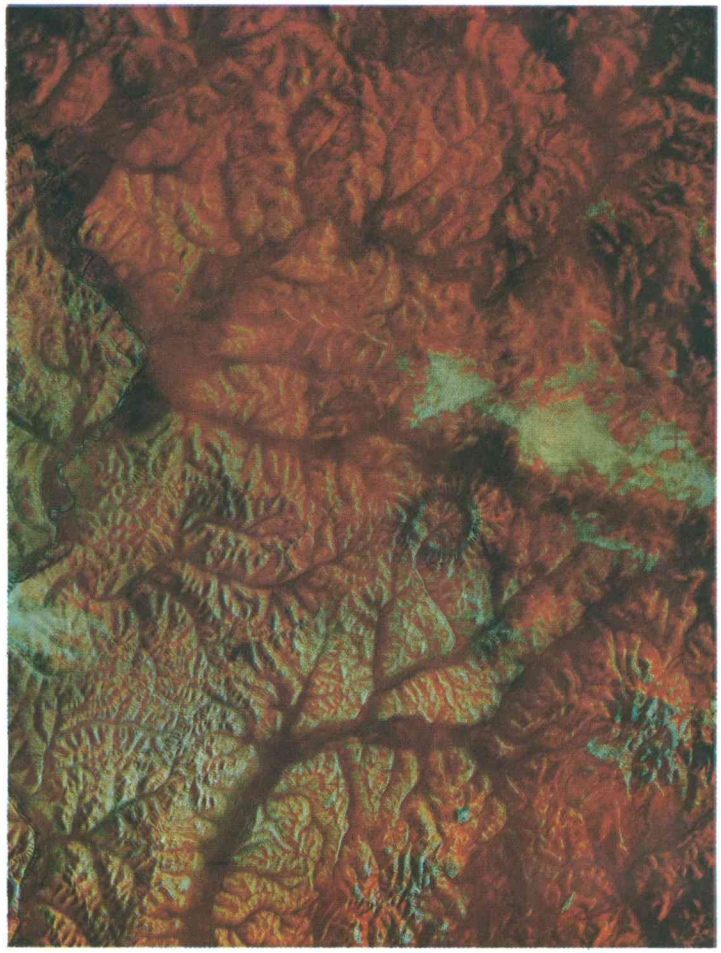
*Южная часть озера Байкал с дельтой реки Селенги и средневысотные горные хребты Прибайкалья*

*Southern part of the Baĭkal Lake with the delta of the Selenga River and the medium-altitude mountain ridges near the lake*



*Многозональный космический аппарат МКФ-6 и отдельные снимки земной поверхности, полученные с его помощью*

*The multiband space camera MKF-6 and some photographs of the earth's surface made with it*



*Район среднего течения реки Вилюй*

*A region in the middle stream of the Viluy River*

*Алданское нагорье. В центре снимка — Кондерский массив, островершинный хребет правильной кольцеобразной формы*

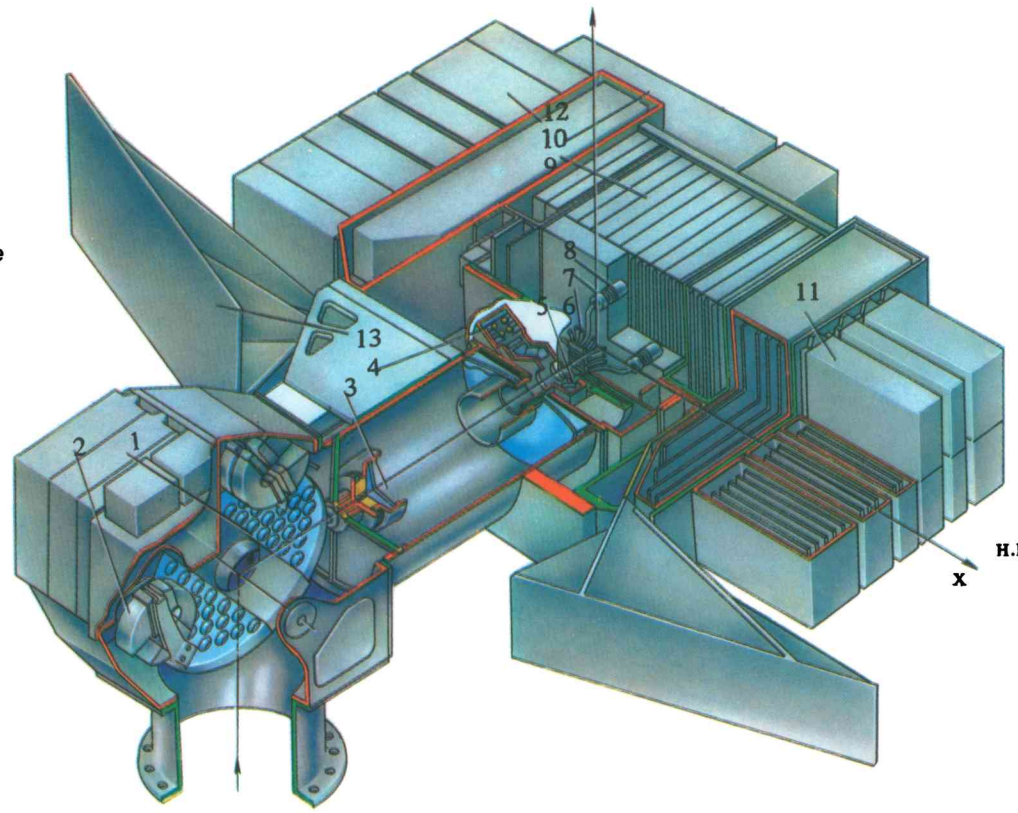
*The Aldan highland. The sharp-peaked ridge in the centre of the photograph is of correct circular shape. This is the Kondersky mountain range*

*Район Памиро-Алая. Снимок охватывает высокогорную зону хребтов с хорошо развитым оледенением*

*The Pamir-Alaĭ region. The photograph illustrates high ranges with well developed glaciation*

*Компоновочная схема многозональной сканирующей телевизионной системы «Фрагмент». Поэлементный просмотр — строчное сканирование земной поверхности в направлении, перпендикулярном полету, производится путем непрерывного качания специального зеркала; сканирование в направлении полета (набор строк) происходит в результате движения самого спутника:*

1 — сканирующее зеркало; 2 — привод зеркала; 3 — объектив; 4 — опорные источники света; 5 — оптико-электронный коммутатор; 6 — волоконно-оптический разветвитель; 7 — полосовые спектральные фильтры; 8 — фотоприемники; 9 — блоки усилителей постоянного тока и высоковольтных источников питания фотоприемников; 10 — блок аналого-цифрового преобразования; 11 — блоки системы управления, сбора, обработки информации; 12 — блок системы электропитания; 13 — радиаторы охлаждения фотоприемников

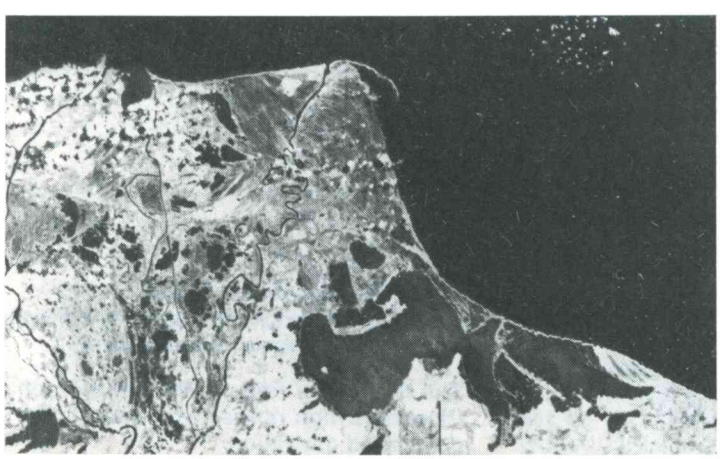


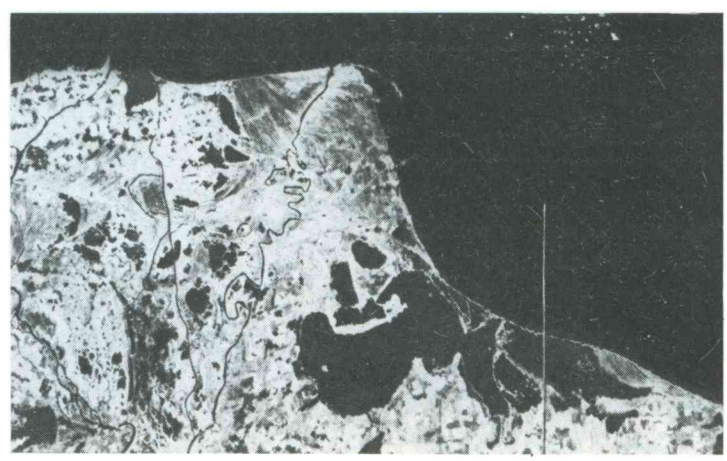

*Layout diagram of the multiband scanning TV system Fragment. Element-by-element look-up or scanning of the earth's surface in the direction across the flight trace is performed by continuous rocking of a special mirror; scanning in the direction of the flight is effected as a result of the satellite movement proper:*

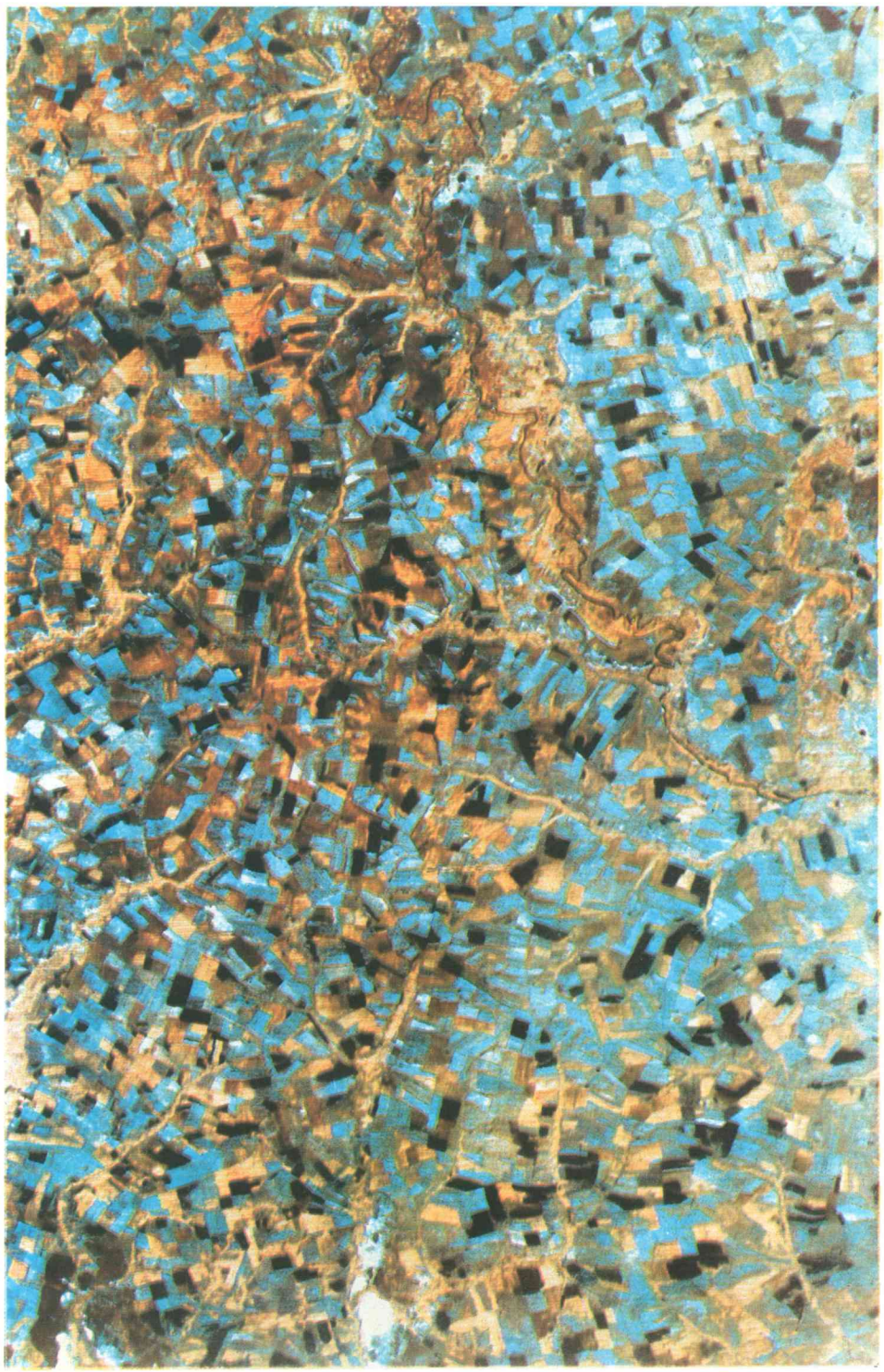
1 — Scanning mirror; 2 — Mirror drive; 3 — Lens; 4 — Reference light source; 5 — Optoelectronic multiplexer; 6 — Fiber-optical bifurcator; 7 — Spectral band filters; 8 — Photodetectors; 9 — D.c. amplifiers and high voltage photodetector supplies; 10 — Analog-to-digital converter; 11 — Data acquisition, processing and control system; 12 — Power supply units; 13 — Photodetector cooling radiators

*На снимках, выполненных в двух зонах спектра, — часть акватории Черного моря у его западного побережья и большая часть дельты Дуная*

*These photographs show part of the Black Sea surface at its western coast and a large part of the Danube delta in two bands of the spectrum*

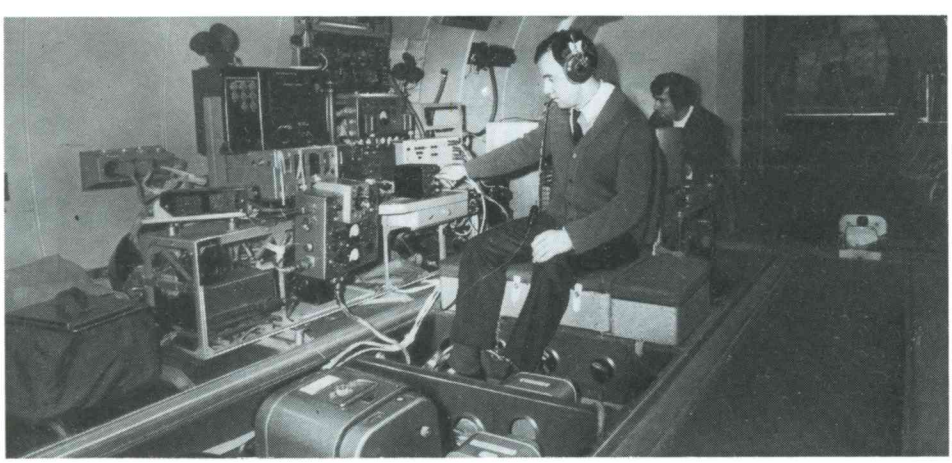






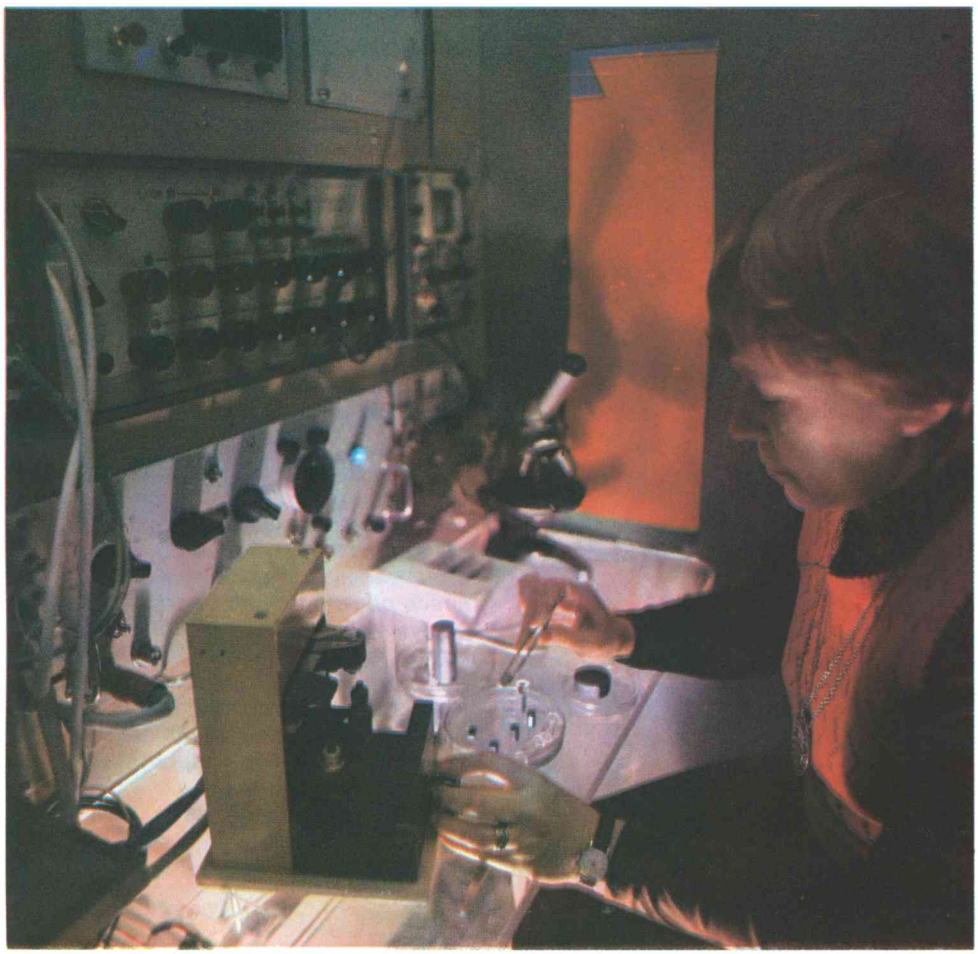
*Фрагмент съемки междуречья Дона и Хопра. Цветовая дифференциация полей в сочетании с большим увеличением исходных снимков обеспечивает высокую эффективность использования многозональной космической съемки при сельскохозяйственном изучении территории. Приведенный цветной снимок позволяет распознавать состав культур. Отчетливо выявляются различия в использовании земель. С помощью таких снимков можно проводить сельскохозяйственное районирование территорий*

*A fragment of the photograph of the Don and the Khoper interfluve. Colour difference of the fields in combination with substantial magnification of the initial photographs ensured high effectiveness in utilizing multiband space photography for agricultural analysis of the territory. This colour photograph reveals the composition of the crops. The difference in utilizing the land is observed clearly. It is possible to perform agricultural classification of the territories by means of such photographs*



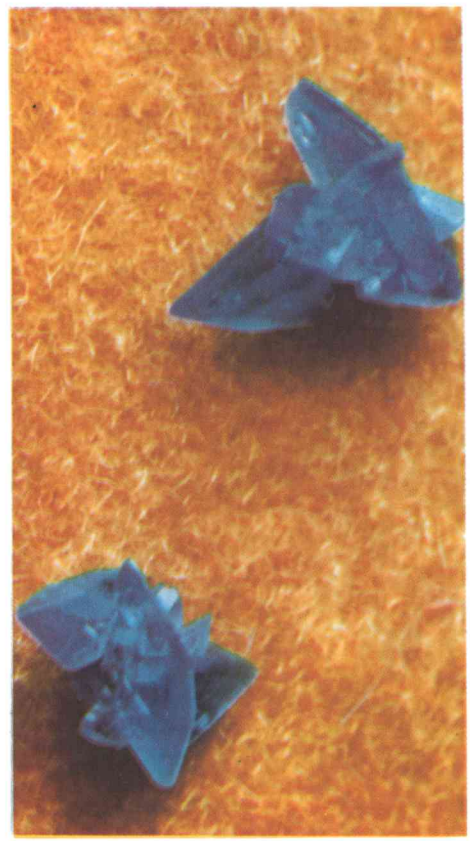
*Борт самолета-лаборатории Ан-30, оборудованного для исследования земных ресурсов*

*Inside the aircraft laboratory AN-30 equipped for investigating the earth's natural resources*



*В лаборатории космического материаловедения*

*In the laboratory of space materials science*

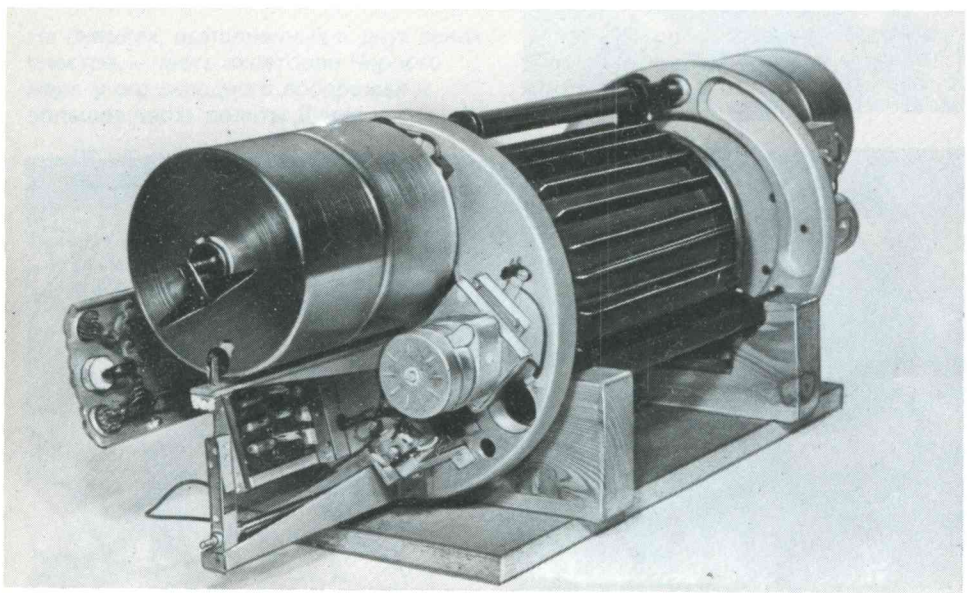


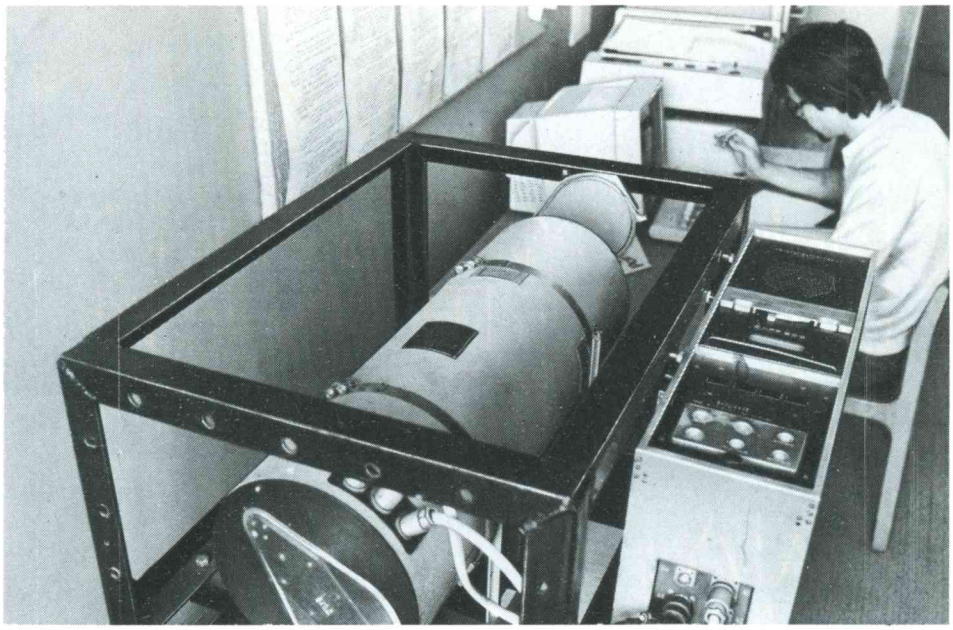
*Одиночные монокристаллы и сростки, полученные в условиях микрогравитации. Советско-монгольский эксперимент «Эрдэнет»*

*Single monocrystals and aggregates produced under conditions of microgravity in the Soviet-Mongolian experiment Erdenet*

*Советско-чехословацкая технологическая установка «Кристаллизатор ЧСК-1», предназначенная для проведения исследований на борту орбитальной станции и получения материалов в полупромышленных масштабах*

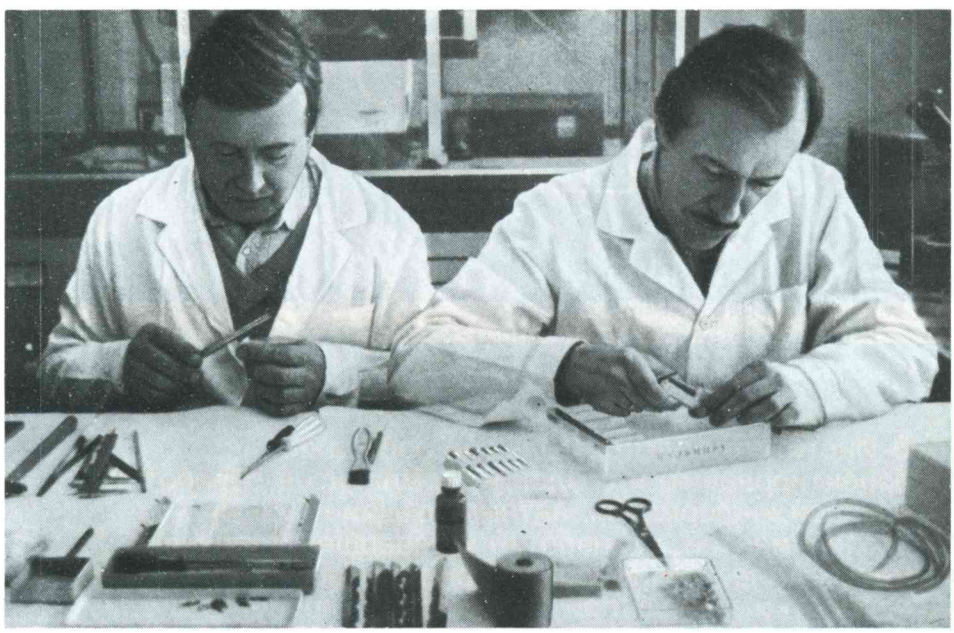
*Soviet-Czechoslovakian technological plant Crystallizer-TSK-1 for investigations on board the orbital station and for the productions of materials on a semi-industrial scale*





*Использование бортовой технологической аппаратуры «Кристаллизатор ЧСК-1» в комплексе наземной обработки экспериментов, планируемых для выполнения на орбитальной станции*

*The use of the on board technological equipment Crystallizer TSK-1 in the ground-based processing of the experiments to be performed aboard the orbital station*

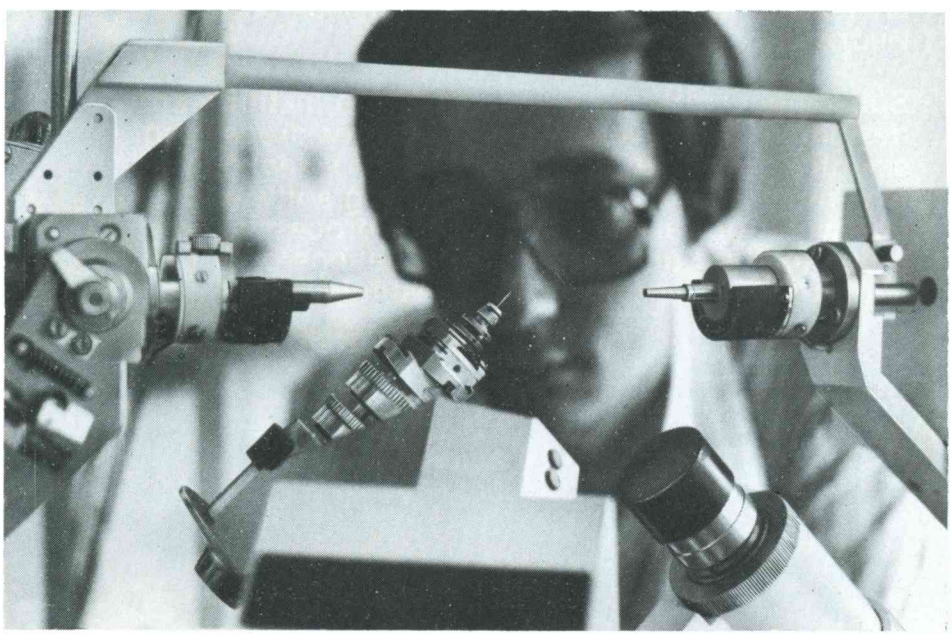


*Подготовка эксперимента «Пальмира» по советско-сирийской программе «Мадер»*

*Preparation of the Palmir experiment by the Soviet-Syrian program Mader*

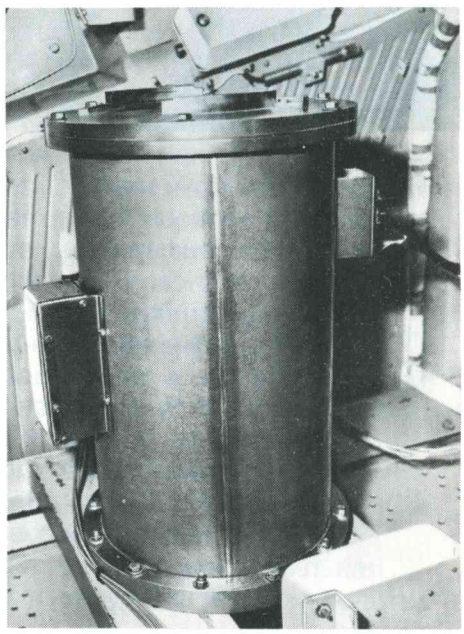
*Исследование образцов на рентгеновском дифрактометре*

*Study of samples by the X-ray diffractometer*



*Аппаратура «Медон» для исследования технологических процессов в условиях повышенного тяготения*

*The Medon equipment for investigations of technological processes under high gravity*



# ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС

# DATA HANDLING AND COMPUTING COMPLEX

В Институте ведется большая работа по проектированию и созданию комплексов обработки научной информации, автоматизации научных экспериментов, разработке и совершенствованию математического и аппаратурного обеспечения сбора и обработки данных при подготовке и проведении исследований как с использованием космических аппаратов, так и на экспериментальной базе Института.

Substantial work is carried out at the Institute on designing and developing facilities for processing scientific information, automation of scientific experiments, evolving and improving software and hardware for data acquisition and processing when preparing and performing investigations both in space and in the laboratories of the Institute.

Централизованные сбор и обработка данных по научным экспериментам проводятся в интересах исследований ИКИ АН СССР, а также всех организаций СССР и других стран (через совет «Интеркосмос»), участвующих в совместных проектах. Обмен научной информацией осуществляется более чем с 10 зарубежными странами, а в СССР — с несколькими десятками научных, проектных и промышленных организаций.
Для оперативного сбора и обмена данными используются телеграфные, телефонные (со скоростью до 9600 бод) и широкополосные каналы связи, а также спутники-ретрансляторы.
Институт располагает мощной вычислительной базой с суммарной производительностью вычислительных комплексов в несколько сотен миллионов операций в секунду. Такой мощный вычислительный Центр был создан в связи со значительным увеличением объемов научной космической информации, необходимостью моделирования физических явлений, а также необходимостью управления научными приборами при реализации космических проектов.
Космические проекты последних лет отличаются большой сложностью и научной значимостью, поэтому очень важно иметь высоконадежные комплексы приема, регистрации, обработки и отображения информации, поступающей с космических аппаратов.
Значительных успехов в этом направлении Институт добился при реализации международного космического проекта «Вега». Был создан мощный комплекс средств доставки и обработки научной информации, который включал в себя технические средства, установленные в ИКИ АН СССР и в Центре дальней космической связи.
В Институте использовались следующие технические средства: пункт приема и распределения научной информации, комплекс контрольно-испытательной аппаратуры, ЭВМ общего назначения с банком данных, центр обработки видеоинформации, система регистрации информации на базе микроЭВМ, пункт телефонно-телеграфной технологической связи, комплекс научной обработки и визуализации телевизионной информации, телевизионные и проекционные установки в Центре отображения.
Впервые в истории Института все перечисленные средства работали как единый организм в непрерывном технологическом процессе, одновременно принимая информацию от удаленных наземных измерительных пунктов и выдавая обработанные данные заинтересованным потребителям, в том числе в Центр управления полетом.
Самым значительным потребителем информации в Институте являлась локальная вычислительная сеть, построенная на базе ЭВМ общего назначения и восьми комплексов СВИТ (самостоятельный видеоинформационный терминал). ЭВМ общего назначения обработанную информацию заносил в банк научных данных, который был доступен для пользователей сети на языке высокого уровня. Комплексы СВИТ были подключены к ЭВМ через устройство группового управления ЕС7922, причем эту связь впервые обеспечивали разработанные в Институте совместно с МФТИ устройства сопряжения ЭЛЕС и оптоэлектронная система информационного обмена.
Также впервые в Институте применялись высокоэффективные оптоэлектронные системы передачи потребителям информации, полученной в пункте приема, и распределения данных.
Следующим шагом в развитии средств обработки космической информации явилось создание комплекса средств для обработки информации проекта «Фобос». При сохранении основной архитектуры комплекса средств обработки проекта «Вега» в новом комплексе главенствует концепция распределенной обработки данных. В Институте получили широкое развитие распределенные комплексы обработки информации на базе мини- и микроЭВМ типа СМ-4, «Электроника», ДВК, РС. Для связи машин используется широкий набор последовательных и параллельных интерфейсов со скоростями обмена до 250 кб/с.
Различные архитектурные решения, выбранные при разработке комплексов, позволяют осуществлять параллельную и последовательную (конвейерную) обработку информации. Суммарная производительность при этом зависит от специфики решаемых задач и может достигать очень высоких значений. При этом общая стоимость распределенных вычислительных комплексов (РВК) достаточно низка по сравнению с высокопроизводительными ЭВМ.
РВК используются в настоящее время для проведения экспресс-анализа научной и служебной информации, поступающей с космических аппаратов, а также регистрации этой информации на магнитных носителях. Кроме того, небольшие габариты РВК позволят использовать их в качестве мобильных вычислительных систем при проведении испытаний научной аппаратуры и служебных систем космических аппаратов на полигонах. Примером такого комплекса является РОМАНС (распределенная обрабатывающая мобильная архитектура наземных средств),

которая была успешно использована при проведении предстартовых испытаний научной аппаратуры проекта «Фобос» на космодроме. Опыт эксплуатации комплекса позволил сформулировать ряд новых принципиальных решений, которые будут использованы при создании РВК следующих поколений. Развитие направления, связанного с разработкой РВК, позволит в ближайшее время значительно увеличить вычислительные ресурсы, используемые для обработки информации в космических исследованиях, проводимых в Институте.

В последние годы в обеспечении высокопроизводительных вычислительных мощностей наряду с разработкой суперкомпьютеров получило развитие альтернативное направление — создание вычислительных систем высокой производительности с использованием параллельных матричных процессоров, связанных с центральным процессором. Примером такой высокопроизводительной системы с использованием параллельных матричных процессоров может служить комплекс, разработанный совместными усилиями ученых ИКИ АН СССР и объединения ИЗОТ(Болгария).

Применение самой современной элементной базы, новых конструкторских и технологических решений позволило создать надежный в эксплуатации малогабаритный вычислительный комплекс с высокими техническими характеристиками.

Производительность центрального процессора на различных тестовых программах составляет от 1,1 до 2 миллионов операций в секунду. Объем оперативной памяти 16 Мбайт. Матричный процессор обладает пиковой производительностью 12 миллионов операций с плавающей запятой в секунду и имеет локальную память до 4 Мбайт.

Разработанное учеными ИКИ АН СССР математическое обеспечение дает полную независимость процессов счета в матричных процессорах, ввода-вывода и счета в центральном процессоре. Это позволяет использовать сразу всю систему для решения одной сложной задачи и приступить к численному моделированию задач, что было невозможно при имевшихся ранее вычислительных средствах.

Уже несколько лет в ИКИ АН СССР эксплуатируется высокопроизводительный комплекс из 10 матричных процессоров ЕС-2706, подключенных к ЕС-1037 с пиковой производительностью 120 миллионов операций с плавающей запятой в секунду или свыше 300 миллионов обычных операций в секунду.

В последние годы в Институте большое внимание уделяется цифровой обработке видеоинформации.

Разработанный комплекс технических средств и математического обеспечения для автоматизированной обработки видеоинформации СВИТ является перспективным средством при обработке информации, отвечающей высоким требованиям пользователей в самых различных сферах деятельности (разведке природных ресурсов, наблюдении за изменениями окружающей среды, прогнозе урожая, наблюдении за растительными культурами и лесными массивами, медицинской диагностике, фотометрических исследованиях, опознавании объектов при съемках с летательных аппаратов, астрономических исследованиях и др.).

С помощью этих комплексов проводятся тематический анализ и обработка изображений, наблюдение естественных процессов в режиме квазиреального времени и классификация по производственным сферам. Основу таких систем составляют достаточно производительная микроЭВМ с обширной периферией, цветной дисплей, пульт оператора с шариком для интерактивного диалога пользователя с системой.

Математическое обеспечение информационно-вычислительного комплекса включает общее, общесистемное и специально предназначенное для обработки результатов уникальных физических экспериментов и результатов космических исследований.

В ЭВМ ЕС широко используются трансляторы с языков Ассемблер, Фортран, ПЛ/1, а также диалоговые системы редактирования текстов и удаленного ввода задания с алфавитно-цифровых дисплеев. Для больших производительных ЭВМ функционирует система разделения времени.

Освоена и внедряется в математическое обеспечение сети телеобработки операционная система ЭВМ ЕС на базе общего телекоммуникационного метода доступа, позволяющего строить сети ЭВМ с коммутацией пакетов.

Решены задачи статистической обработки телеметрической и траекторной информации космических аппаратов, а также оценки и повышения точности получаемых результатов.

Созданы эффективно работающие пакеты программ решения указанных задач на ЭВМ.

Осуществлено математическое обеспечение экспериментов на аппаратах, направляемых к Венере и Марсу. В частности, была показана возможность полета к комете Галлея с предварительным облетом Венеры. При этом была проведена оценка ожидаемой точности определения орбиты кометы по данным астрометрических наблюдений.

С помощью разработанного в Институте метода гарантирующего оценивания было показано, что в момент встречи с космическим аппаратом «Вега» ошибка определения положения кометы не превысит 2—3 тыс. км. Этот прогноз, положенный в основу проекта, полностью оправдался на практике.
На основе тех же методов были оценены ожидаемые погрешности уточнения орбиты кометы по ее наблюдениям с борта аппаратов «Вега» и погрешности определения орбит аппаратов с использованием траекторных и интерферометрических измерений при помощи сети DSH.
Полученные оценки легли в основу международного проекта «Лоцман», заключавшегося в использовании данных наблюдений кометы с борта советских космических аппаратов для наведения на комету западноевропейского аппарата «Джотто». Было показано, что стандартная погрешность определения положения кометы в момент встречи с «Джотто» в этом случае не превысит 100 км. Была разработана эффективная методика уточнения орбиты кометы по ее наблюдениям с одного или обоих аппаратов «Вега». В ходе реализации проекта «Лоцман» координаты ядра кометы были определены с точностью 30—50 км. Они были переданы в Европейское космическое агентство, которое использовало их при окончательном наведении аппарата «Джотто» на комету.
Осуществлялось также навигационное обеспечение экспериментов на искусственных спутниках Земли. В частности, для эксперимента «Реликт» была выбрана устойчивая некорректируемая орбита спутника с апогеем на границе зоны гравитационного действия Земли. Эта орбита была с успехом реализована на практике.
Проведена совместная статистическая обработка показаний датчиков ориентации спутника и телеметрических данных в эксперименте «Реликт». Полученные результаты использованы для построения карты интенсивности реликтового излучения на небесной сфере.
Проведен анализ геофизических ситуаций, которые могли возникнуть в процессе полета спутника проекта «Интершок». На основе этого анализа выбирались орбита и время запуска спутника, а также осуществлялось управление бортовой научной аппаратурой.
Решен ряд вопросов навигационного обеспечения новых научных космических проектов. Разработан комплекс программ, позволяющий находить оптимальные траектории полета к другим телам Солнечной системы. При этом предусмотрена возможность многократных гравитационных и активных маневров у больших планет и их спутников. С помощью этого комплекса были исследованы траектории полета к астероидам с предварительным облетом Венеры, Земли и Марса. Рассмотрены возможности использования гравитационного маневра около Юпитера для полета в ближайшую окрестность Солнца, а также к Сатурну и его спутникам.
Исследованы вопросы управления движением систем спутников и субспутников, предназначенных для активных экспериментов в космосе, а также для исследования магнитосферы Земли.
Оптимальное проведение этих экспериментов обеспечивается соответствующим расположением спутников и субспутников друг относительно друга. Это достигается соответствующей коррекцией их орбит. Для обеспечения такой коррекции разработан комплекс программ определения относительного движения спутников и субспутников, а также расчета параметров корректирующих импульсов, обеспечивающих исправление этого движения и поддержание требуемой конфигурации орбит при наличии различных возмущающих факторов.
Показана целесообразность использования противосолнечной точки либрации системы Солнце—Земля для проведения ряда научных экспериментов. Исследовано движение космического аппарата в окрестности этой точки и разработана методика выбора траекторий полета к точке либрации без проведения маневра перехода на орбиту полета около точки либрации. Разработана методика расчета параметров коррекции рассматриваемых траекторий.
Разработаны методы ситуационного анализа при проведении экспериментов в космосе, когда необходимо управлять приборами и обработкой поступающей информации в зависимости от взаимного расположения нескольких спутников, магнитосферы Земли и различных небесных тел.
Предложена система орбит космических аппаратов, обеспечивающих оптимальные условия определения небесных координат источников гамма-всплесков и расстояний до них. Разработан комплекс программ локализации источников гамма-всплесков по данным нескольких аппаратов с оценкой точности. Этот комплекс был использован при обработке данных реальных измерений с аппаратов «Венера» и «Прогноз».
Разработан ряд методов и программ определения фактической ориентации спутников типа «Интеркосмос», «Аркад», «Прогноз» по телеметрическим данным. Эти методы использовались для определения ориентации реальных спутников.
Создан ряд устойчивых

быстродействующих методов и программ оценивания параметров сложных нелинейных моделей физических явлений. Результаты использовались при обработке информации по экспериментам «Интершок», «Реликт», «Астрон».

Centralized acquisition and processing of scientific experiment data is performed for investigations of the SRI of the USSR AS as well as for all the organizations in the USSR and other countries (via the Intercosmos Council) participating in joint projects. Scientific information is exchanged with more than 10 foreign countries, and in the USSR—with several dozen of scientific, designing and industrial organizations. Telegraph, telephone (with a speed of up to 9,600 bauds) and wide-band communication channels as well as relay satellites are used for quick data acquisition and exchange.
The Institute possesses a powerful computer centre with a total capacity of computing complexes of a few hundred millions operations per second. Such a powerful computer Centre has been created due to an essential growth of the amount of scientific space information, the necessity for simulation of physical phenomena, as well as the necessity for controlling research instrumentation when implementing space projects. Space projects of recent years are distinguished by great complexity and scientific significance, it is, therefore, of great importance to have highly reliable complexes of reception, recording, processing and presentation of data coming from space vehicles. Substantial success in this direction has been achieved by the Institute in implementing the International space project *Vega.* A powerful set of means of delivery and processing of scientific information was created, involving technical means mounted at the SRI of the USSR AS and the Remote Space Communication Centre.
The following technical means were used at the Institute: centre for reception and distribution of scientific information, a complex of control-testing instrumentation, a general-purpose computer with data bank, centre for processing video information, a microcomputer-based system for information recording, a centre for telegraph-telephone technological communication, a set for scientific processing and visualization of television information, television and projection camera units at the Display Centre.
For the first time in the history of the Institute all the enumerated devices worked as a single body in a continuous technological process, simultaneously receiving information from remote ground-based measurement-taking centres and delivering processed information to interested users and to the Mission Control Centre as well.
The most serious user of information at the Institute is the local computer network based on a general-purpose computer and eight sets of SVIT (Self-contained Video Information Terminal). The general-purpose computer filed the processed information in the data bank which employed a high level language. SVIT sets were attached to the computer through a group control unit ES7922, and communication was ensured for the first time by interface devices ELES evolved at the Institute jointly with the MFTI and by an optoelectronic system of information exchange. Highly effective optoelectronic systems of data communications were also employed for the first time at the Institute to communicate the information obtained at the Data Reception and Distribution Centre.

Another step forward in developing means for processing space information is the creation of the set of means for information processing in the project *Phobos.* While retaining the main architecture of the set of the *Vega* project data processing means, the new set gives preference to the concept of distributed data processing. Distributed complexes of information processing based on mini- and microcomputers of the type SM-4, *Electronica,* DVK, PC are widely used at the Institute. A wide set of sequential and parallel interfaces with exchange rates up to 250 kb/s are used for machine communication. Different architectural solutions chosen in the development of the sets make it possible to fulfil parallel and sequential (pipelining) information processing. The total productivity depends upon the specific features of problems being solved and may reach very high values, but the total cost of distributed computer complexes (DCC) is rather low as compared with highly effective computers. DCC are used at present for carrying out proximate analysis of scientific and housekeeping information coming off space vehicles as well as for logging the information on magnetic data carriers. Besides, small dimensions of DCC permit their use as mobile computer systems when testing scientific instrumentation and auxiliary systems of space vehicles on test grounds. ROMANS (distributed processing mobile architecture of ground-based means) may serve as an example. It was used successfully in conducting pre-launching tests of research instrumentation of the *Phobos* project on the space launch area. The operation experience gained makes it possible to word a number of new principal solutions which will be utilized in evolving DCC of future generations. Development of the trend connected with the

development of DCC will make it feasible to increase computer resources used for information processing in space investigations conducted at the Institute.

During the recent years in ensuring highly productive computer capacities an alternative trend is being developed alongside the development of supercomputers, that is the creation of computer systems of high productivity using parallel matrix processors linked with the central processor. A complex developed by joint efforts of researchers of the SRI of the USSR AS and IZOT enterprise of Bulgaria may serve as an example of such a high productivity of a computer system with utilization of parallel matrix processors.

The application of the modern elements base, new design and technological solutions made it possible to develop a reliable in operation small-size computer complex with high technical specifications. The productivity of the central processor in different test programmes is I.I to 2 million operations per minute. The operative storage capacity is 16 MByte. The peak productivity of the matrix processor is 12 million floating-point operations per second and the local storage is up to 4 MByte.

The software evolved by scientists of the SRI of the USSR AS yields a complete independence of estimation processes in matrix processors, input-output and estimation in the central processor. That permits the whole system to be used simultaneously for solving one complicated problem and numerical simulation to be started. With previously available computer means the latter was impossible.

A highly productive complex of 10 matrix processors ES-2706 attached to ES-1037 with the peak productivity of 120 million floating-point operations per second or more than 300 million ordinary operations per second has been operated already for several years at the SRI of the USSR AS.

In the recent years considerable attention is given to digital processing of video information at the Institute. A complex of hardware and software, developed at the Institute for automatic processing of video information SVIT is a prospective means for solving data processing problems and meets high requirements of users in most different areas of activities (prospecting for natural resources, observation of changes in the environment, harvest prediction, observation of vegetative crops and forests, medical diagnosis, photometric investigations, identification of objects in air photography, astronomical investigations, etc.).

These complexes are used for thematic analysis and processing of images, for observing natural processes in quasi-real time and their classification by production spheres.

The system is based on a quite efficient microcomputer with an extensive periphery, a colour display, a joystick control panel for interactive dialogue of the user with the system.

The data handling and computing complex is provided with common software, general system software and special software for processing results of unique physical experiments and space research results.

Translaters from the Assembler, Fortran and PL-1 languages, as well as dialogue systems for editing texts and for remote input of jobs from alphanumeric displays are widely used in the ES-computers.

A time-sharing system is employed in the big high capacity computers.

An operating system of ES-computers has been developed and introduced in the software of a teleprocessing system on the basis of the general telecommunication access, permitting the arrangement of a computer network with switching of data packages.

Problems associated with statistical processing of telemetric and trajectory information coming from space vehicles, as well as problems of assessment and enhancement of accuracy of the results obtained have been resolved. Efficient packages of programmes for computer-aided solution of the above problems have been developed.

Mathematical support to experiments on vehicles launched to Venus and Mars has been ensured. In particular, a possibility of a mission to Halley's comet based on Venus gravity assisted manoeuvre has been indicated. The expected accuracy of calculations of the comet orbit basing on data of astrometric observations has been assessed.

The guaranteed assessment method developed at the Institute helped show that at the moment of meeting with the spacecraft *Vega* the error in estimating the comet position would not exceed 2 to 3 thou. km. The prediction that had been used as a basis of the project proved to be quite correct in practice.

The expected errors of calculations of the comet orbit basing on the observations on board the spacecraft *Vega* and errors of estimations of vehicle orbits applying trajectory and interferometric measurements by means of the DSH network had been assessed using the same methods.

The obtained evaluations served as a basis for the international project *Pathfinder* the aim of which was to make use of the comet observation data obtained on board the Soviet spacecraft in order to guide the West European vehicle *Giotto* to the comet. It was shown that the standard error of estimating the comet position at the moment of meeting with *Giotto* in this case would not exceed 100 km. An

effective technique for estimating more accurately the comet orbit had been evolved basing on its observations from one or both vehicles *Vega*. In the course of implementation of the project *Pathfinder* the coordinates of the comet nucleus were determined with an accuracy of 30 to 50 km. They were transmitted to the European Space Agency where they were made use of in final guidance of the vehicle *Giotto* to the comet.

Navigational support to experiments on board the Earth's artificial satellites has been provided. In particular, for the experiment *Relict* a stable uncorrected orbit of the satellite with the apogee on the border of the Earth's gravity zone has been chosen. The orbit has been used successfully in practice.

The data yielded by sensors of the satellite orientation and telemetric data in the experiment *Relict* were jointly statistically processed. The results obtained have been utilized for drawing up maps of intensity of relict radiation in the celestial sphere.

Geophysical situations that could have occurred in the course of the flight of the project *Intershock* satellite were analysed. Following the analysis the orbit and time of launching the satellite have been chosen, as well control of on-board research instrumentation was done.

Navigational references for new research space projects have been generated. A set of programmes has been developed for ascertaining optimal trajectories of missions to other bodies of the Solar system. A possibility of repeated gravitational and active manoeuvres near large planets and their satellites is also envisged. The set of programmes helped investigate trajectories of flight to asteroids with preliminary manoeuvre round Venus, Earth and Mars. A possibility of using Jupiter gravity assisted manoeuvre was considered for a mission to the Sun's near vicinity as well as to Saturn and its satellites.

Problems of controlling the motion of systems of satellites and subsatellites intended for active experiments in space have been studied. They are also used for investigating the Earth's magnetosphere. Optimum conditions for conducting the experiments are provided with respective mutual location of satellites and subsatellites. This is achieved by an appropriate correction of their orbits. To effect that correction a special set of programmes has been developed for determining a relative potion of satellites and subsatellites and for estimating parameters of correcting pulses ensuring correction of the motion and maintenance of the predetermined configuration of the orbits in the presence of exciting factors.

It was shown that it was reasonable to use the antisolar point of libration of the Sun-Earth system for carrying out scientific experiments. The motion of a space vehicle in the vicinity of the point and a procedure has been elaborated to select trajectories of flight towards the libration point not conducting the manoeuvre of transfer to the flight orbit near the libration point. An estimation procedure for correction parameters of the trajectories in question has been evolved.

Procedures have been developed for analysing situations when conducting experiments in space and it is necessary to control instrumentation and process the incoming information depending on the mutual location of several satellites, the Earth's magnetosphere and various celestial bodies.

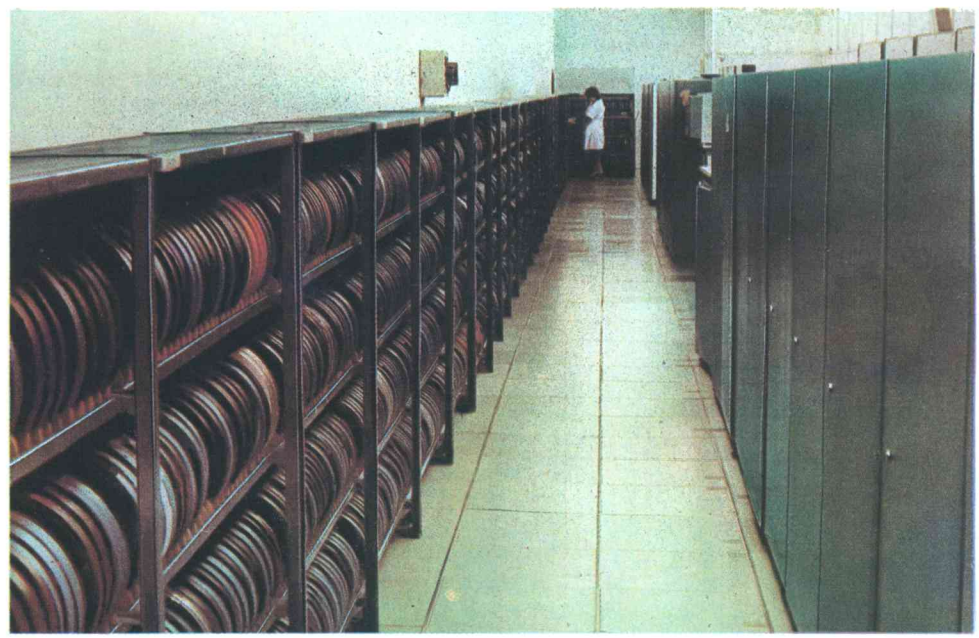
Systems of spacecraft orbits have been advanced ensuring optimum conditions for determining celestial co-ordinates of gamma burst sources and the distances thereto. A set of programmes for detecting gamma burst sources basing on the data received from several spacecraft has been elaborated with assessment of accuracy. That set was utilized when processing data obtained in real measurements on the satellites *Venera* and *Prognoz*.

A number of techniques and programmes have been developed to determine the factual attitude of satellites of the type *Intercosmos, Arkad* and *Prognoz* basing on telemetered data. The methods have been employed in ascertaining the attitude of real satellites.

Some steady and fast methods and programmes have been developed to assess parameters of complicated non-linear models of physical phenomena. The results have been used in processing the information from the experiments *Intershock, Relict* and *Astron*.

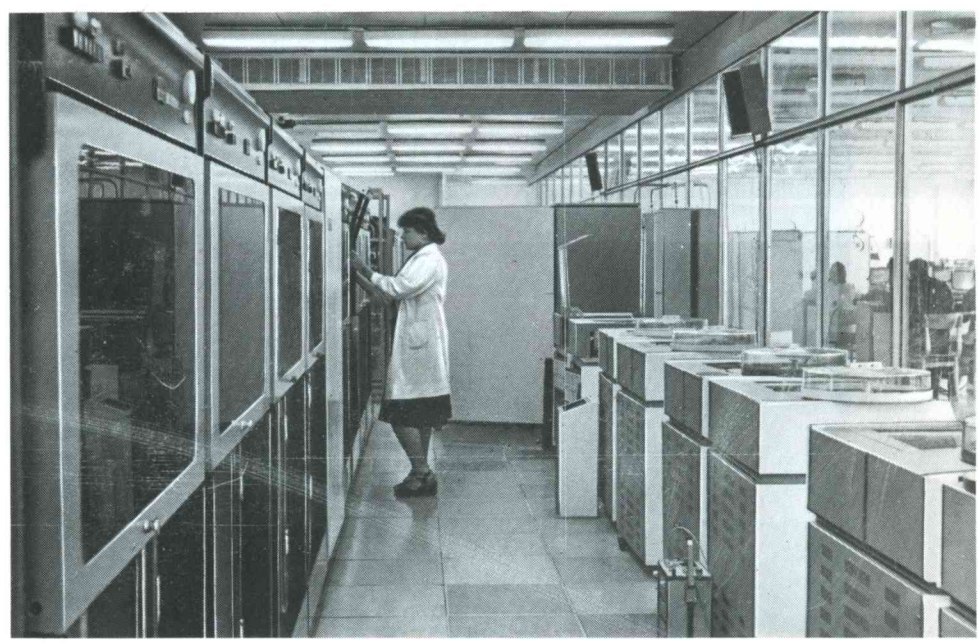
*Обработка научной информации на современных ЭВМ серии ЕС осуществляется как с удаленных дисплеев, так и в пакетном режиме*

*Processing scientific information by modern ES-computers is effected from remote displays and in the package mode*



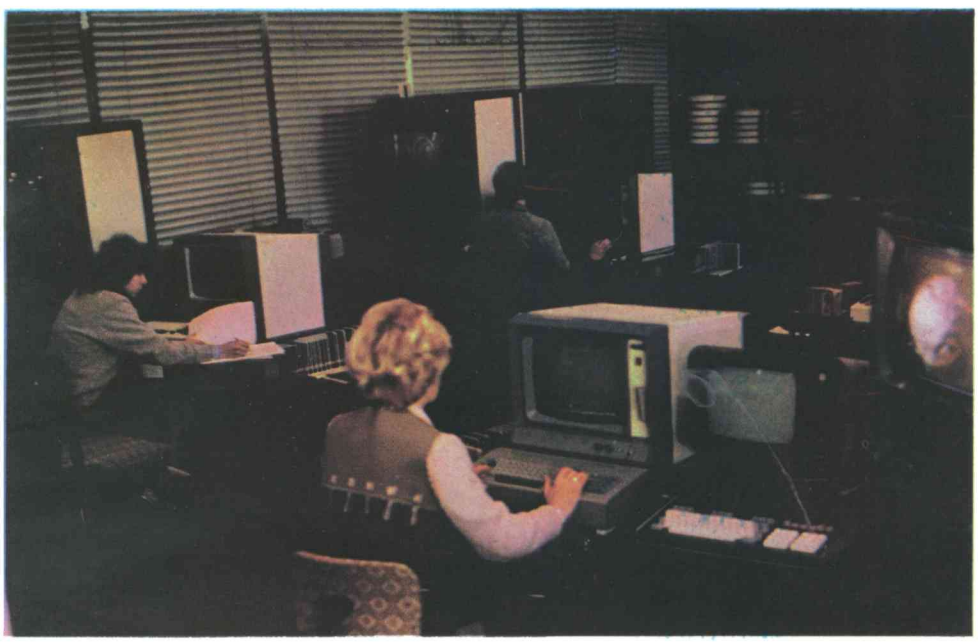
*Банки и архивы обработанной научной информации располагаются на магнитной ленте в бобинах*

*Banks and archives of processed scientific information are stored on magnetic tape in reels*



*Аппаратный зал ЭВМ ЕС электронно-вычислительной машины единой серии*

*AES-computer room*



*Большое число периферийных устройств, особенно накопителей на магнитных дисках и магнитных лентах,—характерная особенность машинного комплекса средств обработки*

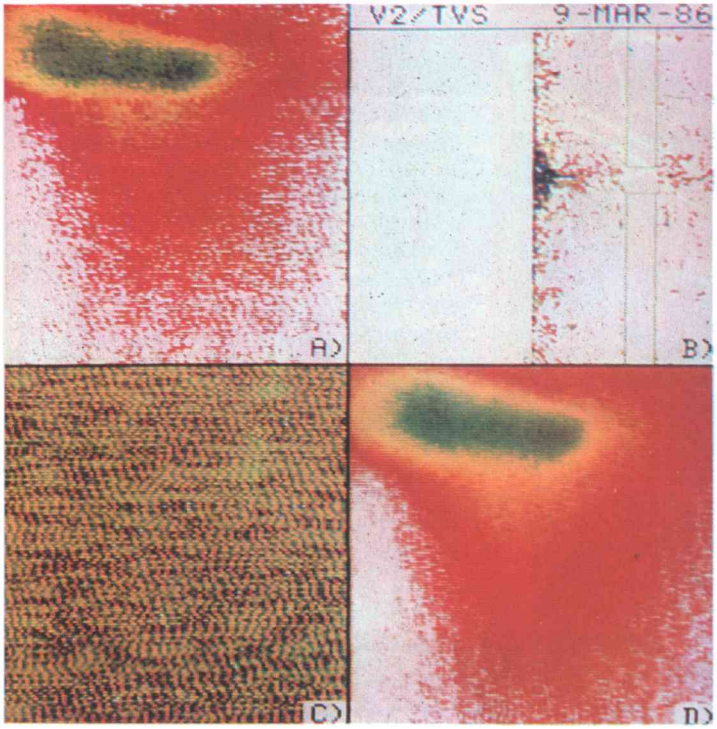
*A large number of peripheral devices, especially magnetic disk and tape storages, is a characteristic feature of a computer processing complex*

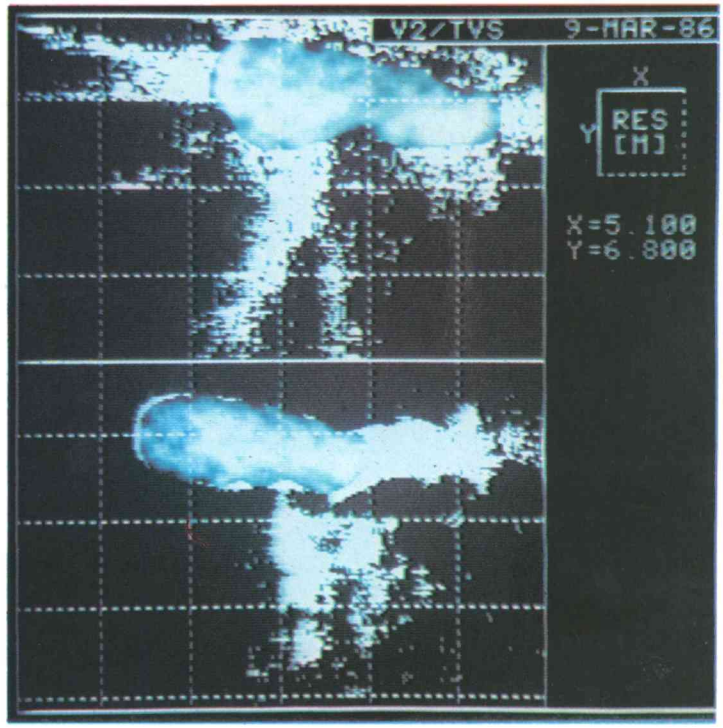
*Дисплейный зал вычислительного центра Института*

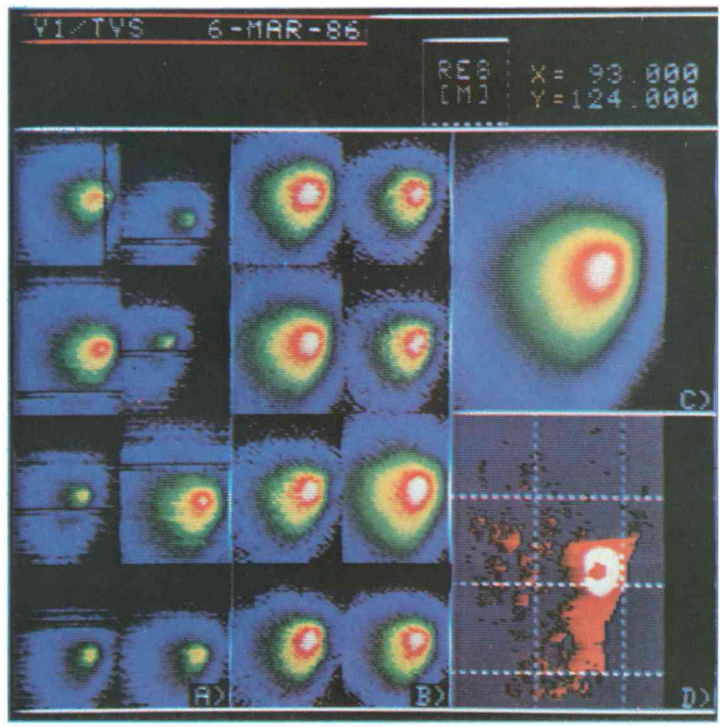
*Display room of the computing centre*

*Комплекс обработки видеоспектрометрической информации позволяет выполнять интерактивный анализ и интерпретацию материалов дистанционного зондирования поверхности небесных тел, получаемых с борта космических аппаратов*

*The complex for processing video-spectrometric information features interactive analysis and interpretation of remote sensing data on celestial bodies obtained with spacecraft*



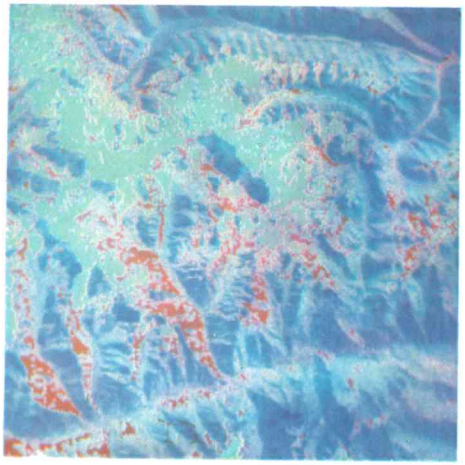



*Примеры обработки изображения ядра кометы Галлея, полученных с борта автоматических станций «Вега-1» и «Вега-2»*

*Processing of images of the Halley comet nucleus, obtained from Vega 1 and Vega 2 automatic stations*

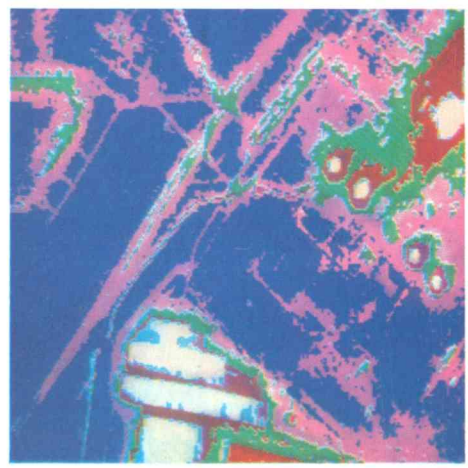
*Комплекс СВИТ, предназначенный для автоматизации процесса обработки данных, представленных в виде изображений*

*The SVIT complex designed for computerized processing of video data*



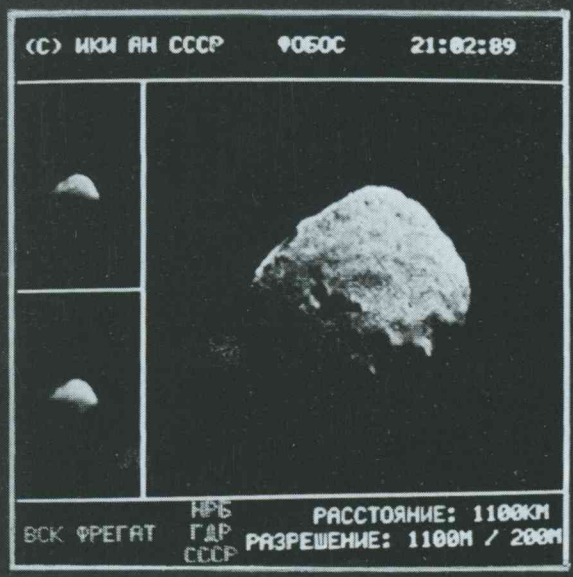
*СВИТ может быть использован медицинскими учреждениями, конструкторскими бюро, службами контроля и охраны окружающей среды, научно-исследовательскими организациями, специалистами многих других отраслей народного хозяйства. Он позволяет наблюдать на экране монитора видимое изображение и результаты его обработки*

*SVIT may be used by medical organizations, design bureaux, environment monitoring and protection services, scientific-research organizations, also by specialists in many other branches of the national economy, input image and the results of its processing can be observed on the monitor display*



*Американские ученые знакомятся с вычислительным центром Института*

*The American scientists are acquainted with the computing centre of the Institute*


(C) ИКИ АН СССР ФОБОС 21:02:89
ВСК ФРЕГАТ
НРБ ГДР СССР
РАССТОЯНИЕ: 1100КМ
РАЗРЕШЕНИЕ: 1100М / 200М

(C) ИКИ АН СССР ФОБОС 28:02:89
ВСК ФРЕГАТ
НРБ ГДР СССР
РАССТОЯНИЕ: 340 КМ
РАЗРЕШЕНИЕ: 67М / 340М

(C) ИКИ АН СССР ФОБОС 21:02:89
ВСК ФРЕГАТ
НРБ ГДР СССР
РАССТОЯНИЕ: 950 КМ
РАЗРЕШЕНИЕ: 180М / 900М

(C) ИКИ АН СССР ФОБОС 28:02:89
ВСК ФРЕГАТ
НРБ ГДР СССР
РАССТОЯНИЕ: 320 КМ
РАЗРЕШЕНИЕ: 65М / 320 М

(C) ИКИ АН СССР ФОБОС 28:02:89
ВСК ФРЕГАТ
НРБ ГДР СССР
РАССТОЯНИЕ: 440 КМ
РАЗРЕШЕНИЕ: 75 М

(C) ИКИ АН СССР ФОБОС 28:02:89
ВСК ФРЕГАТ
НРБ ГДР СССР
РАССТОЯНИЕ: 320 КМ
РАЗРЕШЕНИЕ: 340 М

# КОСМИЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

# PAYLOAD TECHNOLOGY

Институт космических исследований является головной организацией по научному космическому приборостроению в рамках как национальной программы, так и программы «Интеркосмос». Под руководством Института над созданием бортовой аппаратуры для различных направлений исследований космического пространства работает большая кооперация научных, конструкторских и промышленных организаций в СССР и за рубежом.

The Space Research Institute is the leading organization in the development of scientific space-borne instruments within the framework of the national programme as well as the *Intercosmos* programme. The Institute supervises a large group of scientific, designing and industrial organizations in the USSR and abroad dealing with the development of on-board equipment for various experiments in space.

Уникальные приборы охватывают измерениями весь спектр электромагнитных волн (от жестких гамма-лучей до длинных радиоволн), регистрируют потоки заряженных частиц в диапазоне от тепловых до сверхвысоких энергий, анализируют концентрацию и состав космической плазмы, нейтрального газа, исследуют кометную и метеоритную пыль и т. д. Аппаратура обладает высокими техническими характеристиками: чувствительностью, разрешением и информативностью. Она адаптирована к жестким условиям космического пространства, имеет длительный ресурс, надежна в работе.

Одной из специализированных организаций в области научного космического приборостроения без малого четверть века является особое конструкторское бюро Института в г. Фрунзе. Уже для первых трех спутников серии «Прогноз» в ОКБ было разработано и изготовлено 60% научной аппаратуры. С ее помощью изучались магнитные и электрические поля в околоземном космическом пространстве, потоки заряженных частиц, солнечный ветер. От относительно простых устройств для изучения физики полярных сияний конструкторы пришли к созданию сложнейшего комплекса фотометров для советско-французского спутника «Ореол-3», который успешно работал в космосе не один год.

Значительных успехов достигли специалисты ОКБ в создании приборов для исследования планеты Венера. Если в экспериментах на автоматических межпланетных станциях «Венера-7, -8, -9 и -10» ОКБ участвовало как изготовитель только отдельных узлов и блоков, то на последующих станциях «Венера-11, -12, -13 и -14» были установлены приборы, целиком изготовленные в г. Фрунзе. В их числе прибор «Гроза», предназначенный для регистрации электрических разрядов в атмосфере Венеры. Он нормально работал при пятисотградусной жаре и давлении в сто атмосфер на протяжении всего времени существования спускаемого аппарата. Чувствительность прибора позволяла по акустическому каналу регистрировать шум ветра на поверхности Венеры. При этом весь прибор «Гроза» умещался в объеме небольшого транзисторного приемника, потреблял мощность около 1 Вт и вместе с антенной весил лишь 1300 г.

Ряд уникальных приборов экспедиции «Вега» появился на свет в стенах ОКБ. Среди них ультрафиолетовый спектрометр для анализа состава газовой оболочки Венеры. При его разработке советским конструкторам вместе со специалистами из Франции пришлось решать множество сложных технических проблем, таких как обеспечение забора газа атмосферы, надежная тепловая защита прибора от жарких «объятий» Утренней звезды. Важно было также сохранить необходимое положение оптических элементов в условиях воздействия огромных (в 150—200 раз) перегрузок при торможении спускаемого аппарата в атмосфере планеты. Источником ультрафиолетового излучения в спектрометре служила импульсная лампа, свет которой через иллюминатор выходил в атмосферу, поглощался атмосферными газами и возвращался обратно в анализатор. Здесь свет разлагался на спектральные составляющие. Прибор позволил изучить пространственную структуру распределения поглотителей в атмосфере, а значит, уточнить картину фотохимических циклов, ответственных за образование облачного слоя далекой планеты.

Созданный в ОКБ пылеударный масс-анализатор ПУМА работал во время встречи космических аппаратов с кометой Галлея и позволил осуществить первое прямоконтактное исследование кометной пыли. В приборе нашли воплощение новейшие достижения оптики, теплофизики и микроэлектроники, вычислительной техники и механики. Химическому анализу в приборе ПУМА подвергалось облачко плазмы, возникающее при ударе пылинок о серебряную мишень со скоростью порядка 80 км/с. Аппаратура могла регистрировать пылинки массой в миллион раз меньше миллиграмма и определять их элементный состав с точностью до одной десятой доли процента. В результате экспериментов было получено несколько тысяч «индивидуальных» спектров, принадлежащих таким элементам, как углерод, водород, азот, кислород, магний, железо, натрий и другие. Проведя полный анализ химического состава, размеров и концентрации пыли, ученые смогли «прорисовать» структуру поверхности кометного ядра. Кроме того, прибор имел столь высокое разрешение, что позволил увидеть изотопы, а значит, определить изотопные соотношения в кометной пыли.

В г. Фрунзе была создана значительная часть аппаратуры для международного проекта «Фобос». Например, система ЛИМА-Д, позволяющая осуществить лазерный масс-спектрометрический анализ состава грунта Фобоса. Во время «бреющего» полета космического аппарата над марсианским спутником на высоте порядка 50 м с очень малой скоростью направленный лазерный луч фокусируется в крошечное пятнышко на поверхности Фобоса. Благодаря

огромной плотности энергии в освещенном участке вещество мгновенно испаряется, а масс-спектрометр идентифицирует частицы, попавшие при этом в «ловушку». Таков принцип работы системы.
Состоит ЛИМА-Д из нескольких блоков: лазерного излучателя с перестраиваемым фокусирующим объективом, лазерного дальномера, рефлектрона с детектором, блока питания лазера, блока обработки информации и управления. Обязанности строго распределены. Дальномер измеряет расстояние до поверхности Фобоса и передает данные в блок управления. Блок управления осуществляет подфокусировку лазерного луча в пятно диаметром 1 мм. Каждые пять секунд выстреливает лазер, образовавшиеся ионы попадают в окно рефлектрона, а затем, сгруппированные по массам, на детектор. Информация обрабатывается бортовой ЭВМ и передается по каналам телеметрии на Землю. Каждый блок удовлетворяет высоким требованиям. Так, лазерный излучатель имеет большую мощность (за 10 нс выделяет почти джоуль энергии) и при этом легок, миниатюрен, надежен, потребляет минимум энергии.
Кроме ЛИМЫ-Д для миссии «Фобос» в ОКБ были изготовлены информационно-вычислительная система радиолокационного комплекса, блок автоматики долгоживущей автономной станции и система сбора и обработки всей научной информации МАРИОН.
Одно из «детищ» ОКБ — самый крупный в мире космический гамма-телескоп, предназначенный для регистрации гамма-излучения галактического и внегалактического происхождения в диапазоне 50—500 МэВ. Чувствительная площадь телескопа — 1,5 кв. м, что в 3 раза выше, чем у аналогичного американского инструмента. В телескопе «Гамма-1» впервые применена широкозазорная искровая камера, благодаря которой улучшается точность определения пространственных координат и исключаются ложные события, искажающие картину наблюдений. Под искровой камерой размещается черенковский счетчик, его назначение — «разрешать» события только при условии прохождения излучения сверху вниз со скоростью больше пороговой. Эти устройства в основном устраняют фоновый поток гамма-квантов, возникающих в атмосфере Земли.
Получение информации от искровых камер телескопа «Гамма-1» выполняется с помощью видикона (передающей телевизионной трубки с электропроводящей мишенью). Для прецизионных измерений отдельных участков неба этот способ можно продублировать фотографическим. Известно, что угловое разрешение гамма-телескопов повышается с помощью кодирования его апертуры. В телескопе «Гамма-1» применена упрощенная схема кодирующей маски, состоящей из двух одномерных наборов брусков вольфрама толщиной 1 см.
Важным этапом работы ОКБ стало создание рентгеновского телескопа для проекта «Гранат».
Как известно, одной из важнейших мер повышения эффективности научных исследований вообще является применение новейших методов и создание прогрессивной аппаратуры. Это полностью относится и к космическим исследованиям.
Систематическое последовательное внедрение передовых технологий, новейших достижений науки и техники обеспечило ОКБ постоянное совершенствование производства.
В разработке технологической документации и создании приборов все большее применение находят средства вычислительной техники и действуют автоматизированные системы проектирования и изготовления печатных плат, учета и распределения комплектующих электрорадиодеталей, сетевого планирования и управления, оптических, прочностных и тепловых расчетов. В составе вычислительного центра ОКБ и мощные машины, которые могут выполнять сотни тысяч операций в секунду, и вычислительные комплексы, базирующиеся на мини-ЭВМ.
Некоторые космические приборы изготовляются на опытном производстве ИКИ. Здесь выполнены отдельные части научной и служебной аппаратуры таких программ, как «Болгария-1300», «Активный», «Реликт», «Гранат», «Вега», «Фобос». Например, для космических аппаратов «Вега» в цехах Института изготовлены блоки трехканального спектрометра ТКС, узлы телевизионной системы, автоматический датчик наведения, блоки электроники, управления и питания метеокомплекса, а также лабораторный и технологический образцы пылеударного масс-анализатора ПУМА.
В опытном производстве занято около семидесяти специалистов высокого класса: токарей и фрезеровщиков, сварщиков и шлифовщиков, слесарей-сборщиков и радиомонтажников. Тринадцать человек из них удостоены правительственных наград за участие в создании приборов для космических исследований.

The unique instruments are used to make measurements in the entire range of electromagnetic radiation (from hard gamma rays to long radio waves), record fluxes of charged particles from thermal to ultrahigh energies,

analyse concentration and composition of the space plasma, neutral gas, investigate cometary and meteorite dust, etc. These instruments feature superb specifications: sensitivity, resolution and information capacity. They are adapted to the severe conditions of space, have a long life span and are highly reliable.

For almost a quarter of the century the Special Design Bureau of the Institute in Frunze has been one of the specialized organizations in scientific space instrument engineering. About 60% of the payload for the first three satellites of the *Prognoz* series was developed and manufactured at the Special Design Bureau (SDB). The equipment was used to study the magnetic and electric fields in the near space, fluxes of charged particles and solar wind. The SDB started with comparatively simple instruments for studying physics of polar aurora and then advanced to the production of a most complicated set of photometers for the Soviet-French satellite *Oreol 3* that orbited successfully for quite a few years.

Specialists of the SDB gained considerable success in developing instruments for investigating Venus. In experiments on board the automatic interplanetary probes *Venera 7, 8, 9* and 10 the SDB took part as a manufacturer of just individual assemblies and units, but the subsequent spacecraft *Venera 11, 12, 13, 14* carried instruments all done in Frunze. Among them was the *Groza* instrument designed for recording electric discharges in the atmosphere of Venus. It functioned normally at 500° C and a pressure of 100 atm. throughout the life span of the lander. The sensitivity of the instrument was so high that it was possible to pick up the noise of the wind on the surface of Venus over the acoustic channel. The whole *Groza* instrument fits the size of a small transistor radio, consuming about I W and weighing just 1300 grams together with the antenna.

Some quite unique devices of the *Vega* mission made their appearance in the SDB. Among them there was an ultra-violet spectrometer for analysing the composition of the Venus gaseous shell. While developing the device, the Soviet and French engineers had to overcome a great many complicated technical problems such as the atmospheric gas intake, safe heat protection against hot embraces of the Morning star. It was also important to retain the required position of optical elements under conditions of enormous (150 to 200 fold) overload when braking the lander in the planet's atmosphere.

A flash tube served as a source of ultraviolet radiation in the spectrometer. Light from the tube through a window went to the atmosphere, there it was absorbed by atmospheric gases and then returned into the analyzer, where it resolved into spectral components. The device made it possible to study the spatial structure of distribution of absorbers in the atmosphere, refine the pattern of photochemical cycles responsible for formation of the cloud layer of the remote planet.

The dust-impact mass-analyzer PUMA developed at the SDB functioned during the rendezvous of the spacecraft with Halley's comet and thanks to the device the first direct contact study of the comet's dust was carried out. Newest developments of optics, heat engineering and microelectronics, computer technology and mechanics were embodied in the device. A small plasma cloud occurring when dust specks encounter with a silver target at a speed of about 80 km/s was subject to a chemical analysis in the PUMA device. The instrument could record dust specks with a mass of one millionth milligram and determine their composition by elements with an accuracy of up to one tenth percent fraction. As a result of experiments a few thousand "individual" spectra were obtained of such elements as carbon, hydrogen, nitrogen, oxygen, magnesium, iron, sodium and so on. Having done a complete analysis of chemical composition, dimensions and concentration of dust, the scholars managed "to draw up" the surface structure of the comet's nucleus. Besides, the device had such a high resolution that it was possible to see isotopes, and so to ascertain isotopes ratios in the comet's dust.

An essential part of the instrumentation for the international project *Phobos* was developed and manufactured in Frunze. For example, the LIMA-D system that permits a laser mass-spectrometric analysis of the composition of Phobos soil to be done. During a "low-level" flight of the spacecraft over Mars' satellite at a height of about 50 m at a very low speed the directed laser ray is focused into a minute spot on the Phobos surface. Owing to an enormous energy density in the illuminated area the substance turns instantly into a vapour and the mass-spectrometer identifies the particles trapped, so to say. This is the principle of work of the system.

LIMA-D consists of a few units, namely: a laser radiator, readjustable focusing lens, laser range finder, reflector with a detector, laser supply unit and information processing and control unit. The range finder measures the distance to Phobos and transmits the data to the control unit. The control unit does additional focusing of laser ray into the spot of I mm dia. Every five seconds laser shoots, ions formed come onto the reflector window and then, grouped by masses, onto the

detector. The information is processed by the on-board computer and telemetered to the Earth.
Each unit meets high requirements. Thus the laser radiator has a large capacity (for 10 ns it emitted almost a joule of energy) but its weight is low, it is tiny, reliable, consumes a minimum of energy.
In addition to LIMA-D, the SDB manufactured an information-computer system of the radar complex, an automation unit of the long-life autonomous station and a system of acquisition and processing of entire scientific information MARION.
One of the "offsprings" of the SDB is the world largest space gamma-telescope developed to record gamma radiation of galactic and extragalactic origin within the range of 50 to 500 MeV. The sensitive area of the telescope is 1.5 sq. m. that exceeds three times that of a similar US-built telescope. The telescope *Gamma 1* makes use for the first time of a wide gap spark chamber which helps improve the accuracy of ascertainment of spatial co-ordinates and avoid false events distorting the observation pattern. Under the spark chamber there is a Cherenkov meter whose function is "to allow" events only if radiation passes from above at a speed exceeding the threshold one. These devices delete in whole the background flux of gamma-quanta occurring in the Earth's atmosphere.
Information from spark chambers of the telescope *Gamma 1* is received with the aid of the vidicon (a power-conducting target camera tube). For precision measurements this technique may be duplicated by photography. As is known, the angular resolution of gamma telescopes is enhanced by coding its aperture. The telescope *Gamma 1* uses a simplified scheme of the coding mask consisting of two one-dimensional sets of tungsten bars I cm thick.
An important stage in the SDB research and development was creation of the X-ray telescope for the *Granat* project.
It is common knowledge, that one of the major means for making scientific research more efficient is to apply novel methods and advanced technologies. This refers fully to space research. Systematic and successive introduction of advanced technologies, innovations in science and engineering ensures a permanent improvement of production.
Technical documentation and novel devices are developed with an increasingly wide application of computer engineering. Computer-aided systems are employed for designing and manufacturing printed circuit boards, for recording and distributing electric and radio components, network planning and management, optical, strength and thermal estimations. The computing Centre of the SDB is equipped both with high-capacity computers performing hundreds of thousands operations per second and computing complexes on the basis of minicomputers.
Some space devices are manufactured at the pilot production department of the SRI. Thus individual parts of research and auxiliary instruments of such programmes as *Bulgaria-1300, Activny, Relict, Granat, Vega* and *Phobos* were fabricated at the Department. For example, for the *Vega* spacecraft there were manufactured units of a three-channel TKS spectrometer, units of the television system, an automatic meter of guidance, blocks of electronics, control and power supply of the meteocomplex, as well as laboratory and technological test specimens of the dust and impact mass-analyzer PUMA.
About seventy high qualification workers are involved at the pilot production department: turners and milling machine operators, welders and grinders, locksmiths and fitters, radio assemblers. Thirteen of them were awarded governmental prizes for their participation in creation of instruments for space research.

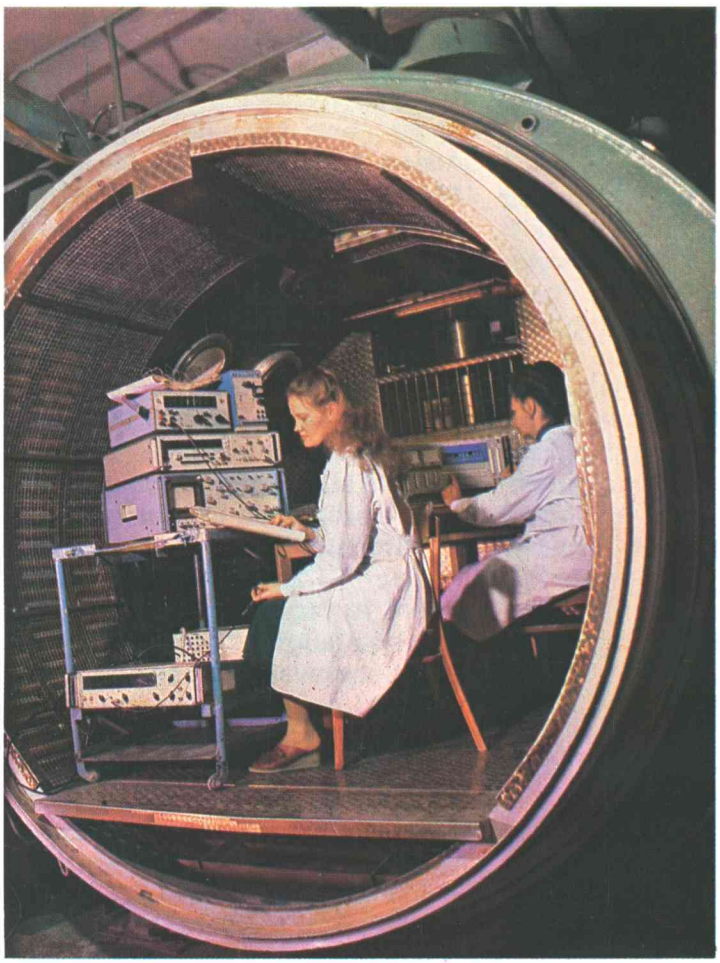
*Главный корпус Особого конструкторского бюро Института космических исследований АН СССР в г. Фрунзе*

*Main building of Special Design Bureau of Space Research Institute of USSR Academy of Sciences in Frunze*

*Участок гибридных микросхем*

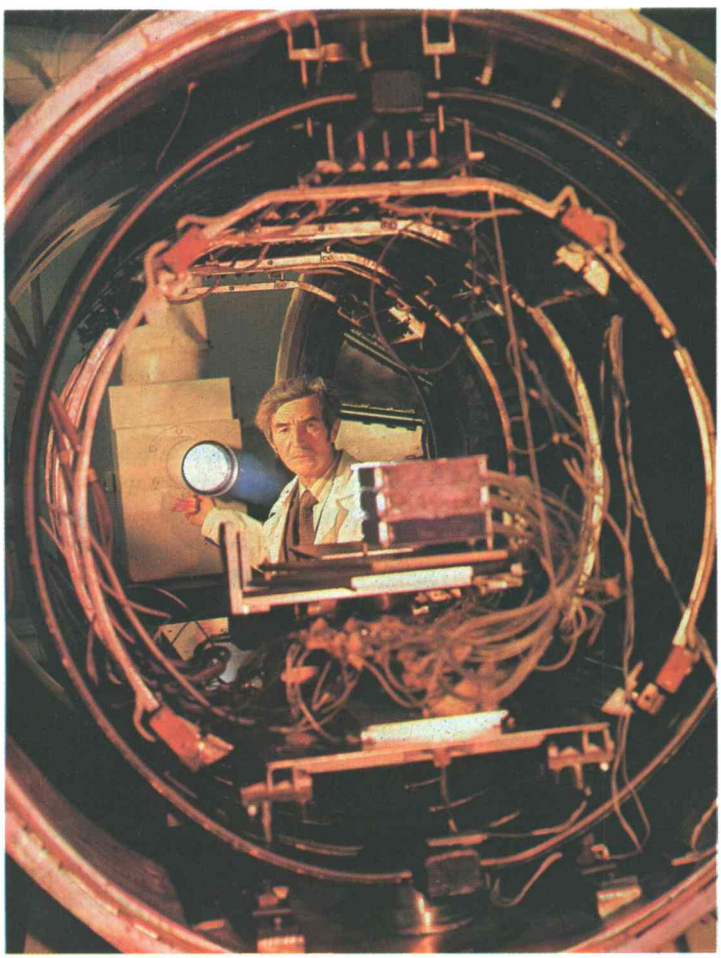
*Hybrid IC production sector*

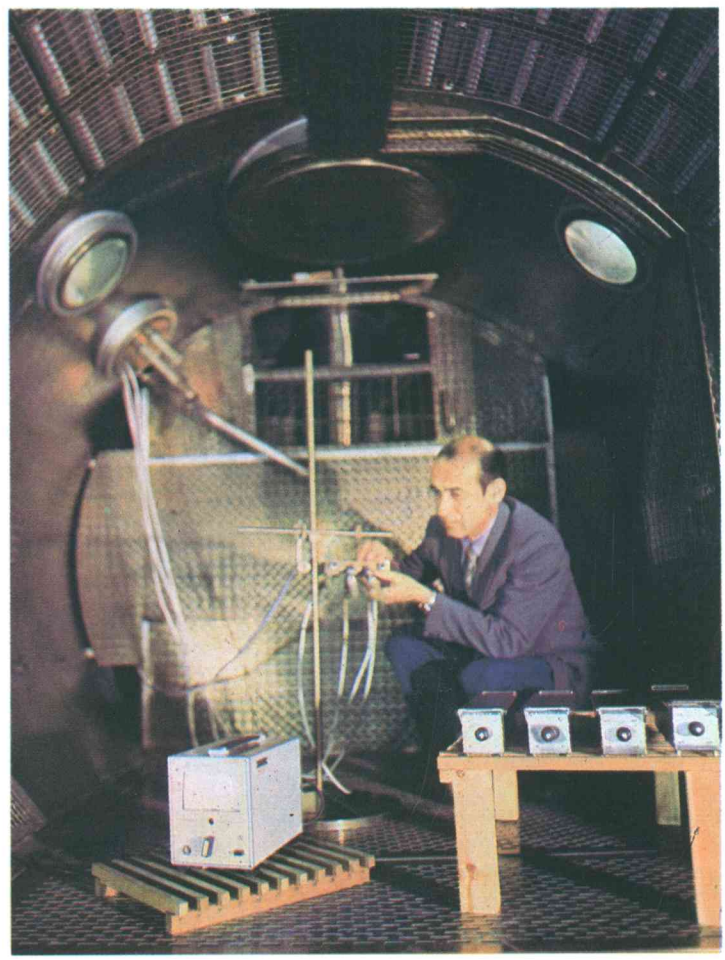
*Монтажный участок одного из цехов ОКБ*

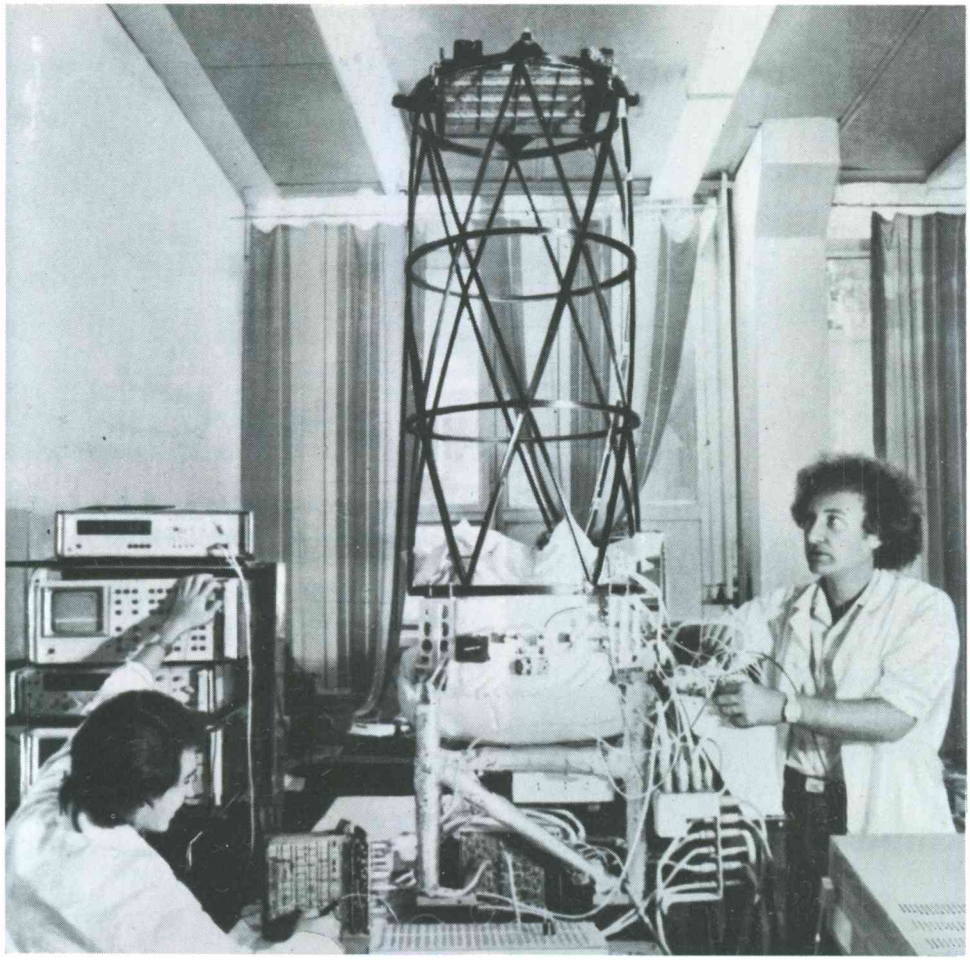


*Земные дублеры космических приборов проходят в буквальном смысле слова огонь, воду, испытывают чудовищные нагрузки, космический холод и многие другие «невзгоды». Их «трясут» на вибростенде, сбрасывают с больших высот на бетонные площадки, подолгу заставляют работать в барокамерах, в условиях, приближенных к реальным условиям космического полета*

*The predecessors of the instruments going to space, their back-ups, are tested with fire, water, tremendous loads, space cold and many other severe conditions. They are jotted on a vibration stand, dropped from a high altitude on concrete sites, operated for a long time in altitude chambers under conditions approaching those of actual space*





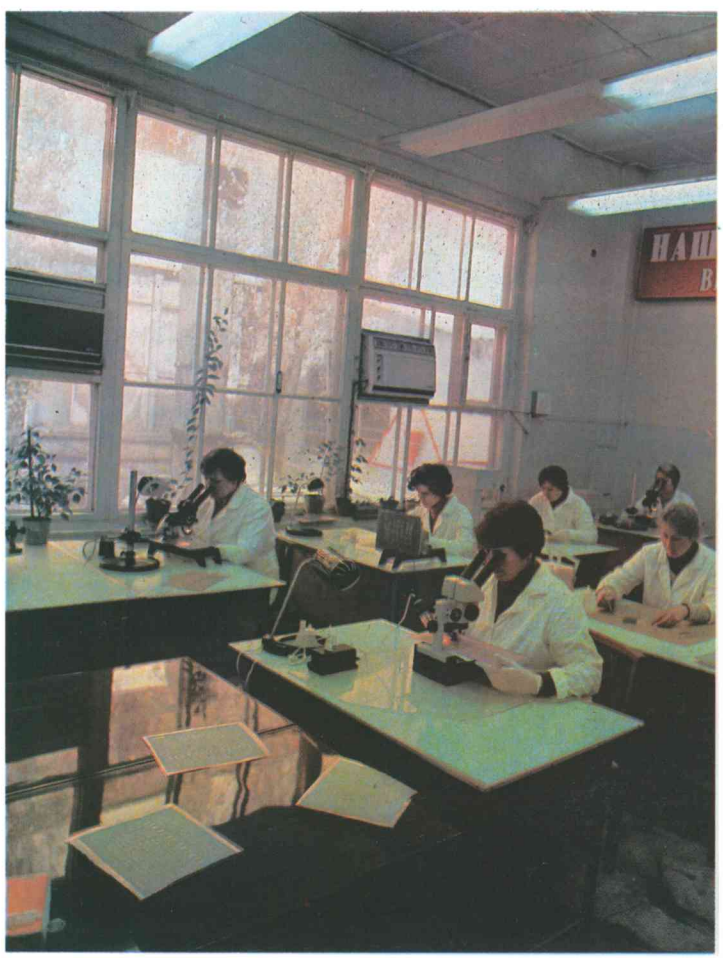


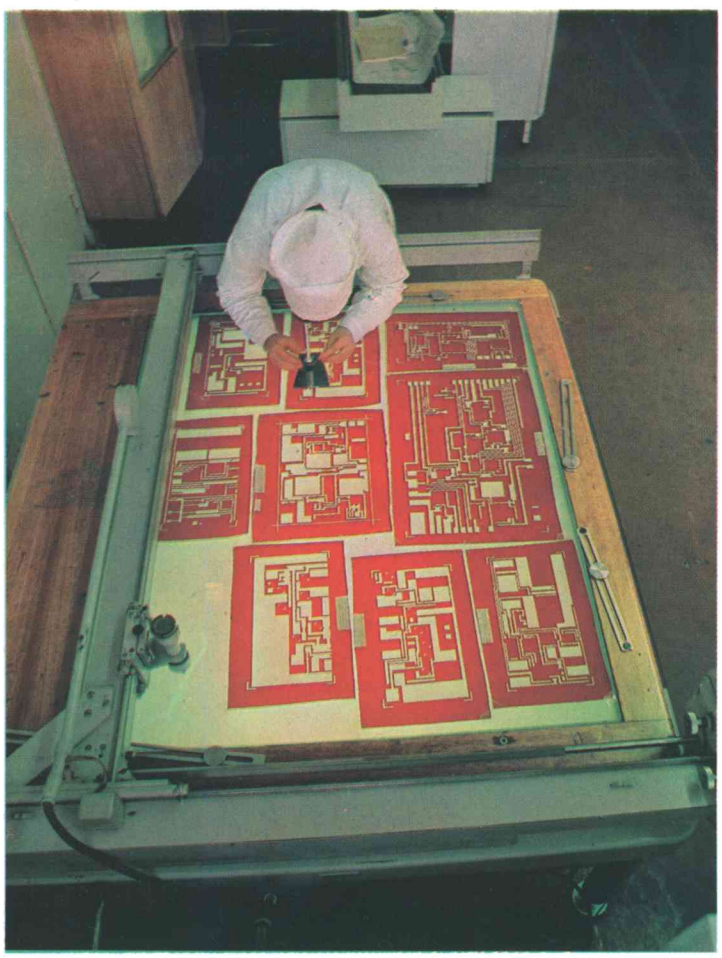
*Подготовка телескопа АРТ-П к электрическим испытаниям*

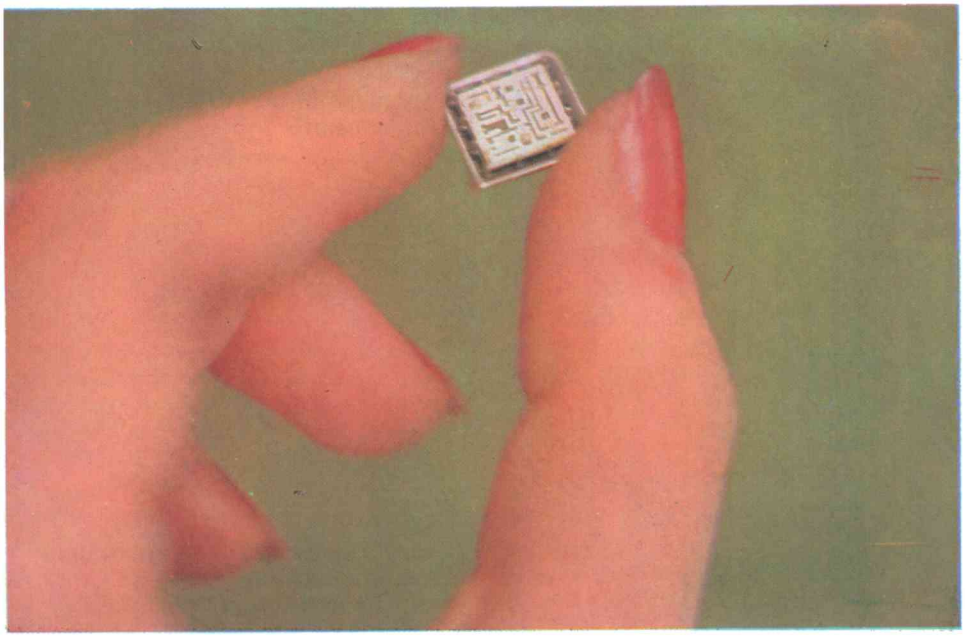
*Preparation of the ART-P telescope to electric tests*

*Разработчикам приборов для космоса приходится осваивать новые технологические процессы, использовать новейшие достижения науки и техники, учитывая постоянно те чрезвычайно трудные условия, в которых затем суждено действовать этим приборам*

*The designers of space instruments master new technological processes, apply the latest achievements of science and engineering, remaining all the time within the rigid framework of exceptionally severe conditions under which the instruments will operate*





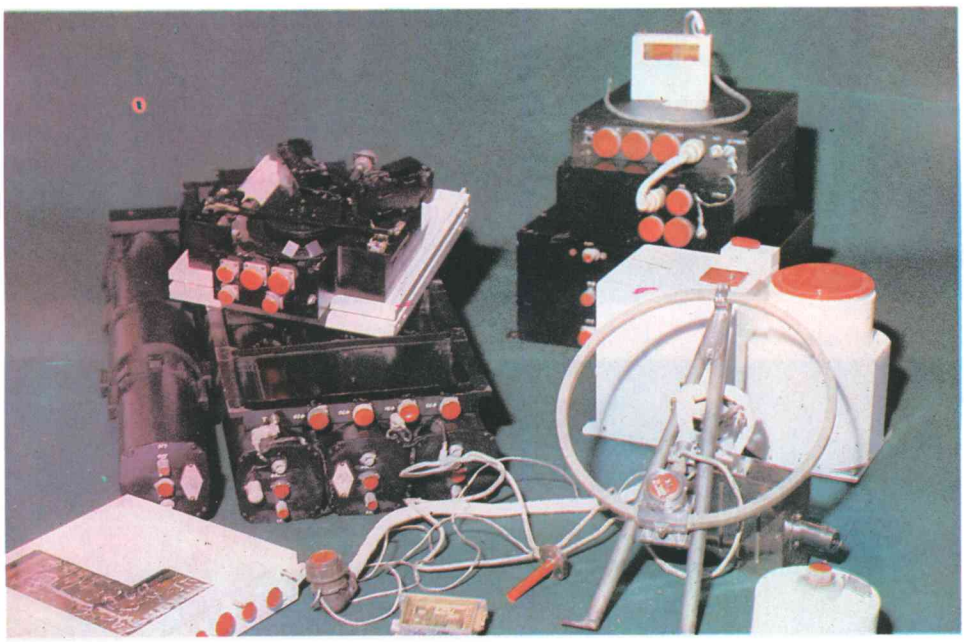


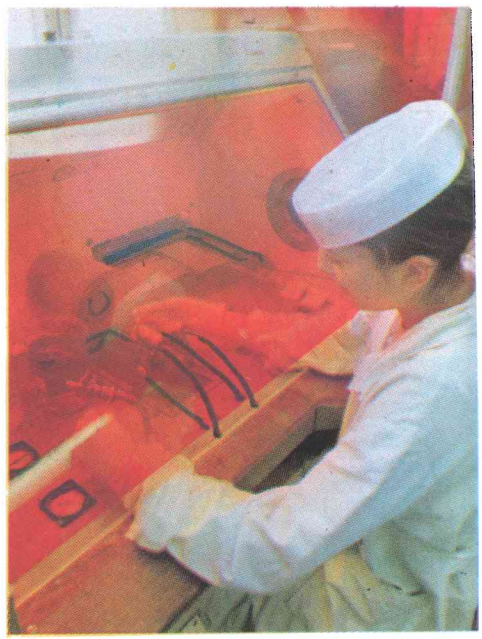
*Основа основ космического приборостроения — микроминиатюризация*

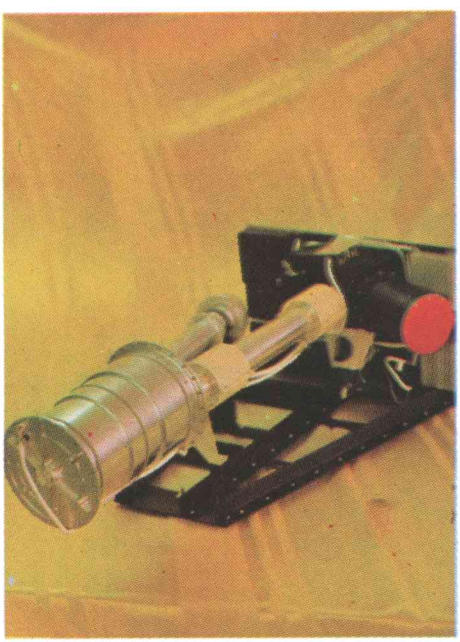
*Microminiaturization is the cornerstone of space scientific instrument engineering*

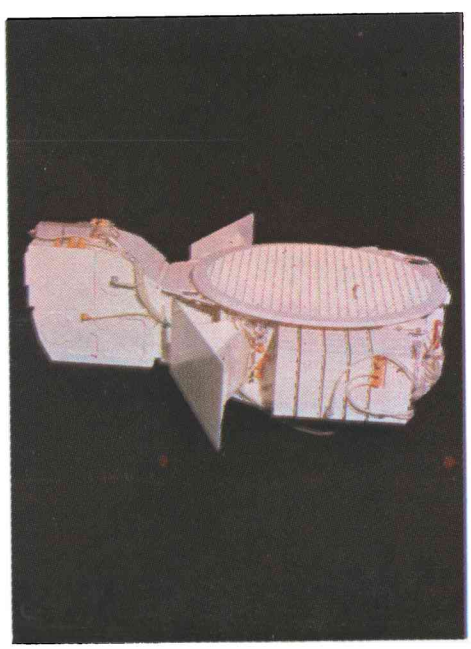
*Подготовка к работе узла частного назначения в микроисполнении*

*Preparation of a miniature version of a special unit for operation*









*Аппаратура «Фрагмент». С ее помощью обеспечивается съемка земной поверхности с полосой захвата 90 км и пространственным разрешением порядка 80 м одновременно в 8 зонах спектра*

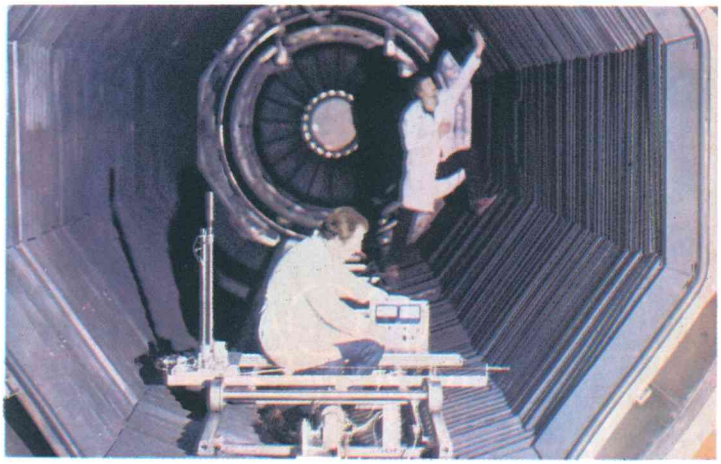
*The Fragment instrument images the earth's surface in a 90 km wide strip and with a spatial resolution of about 80 m simultaneously in 8 bands of the spectrum*

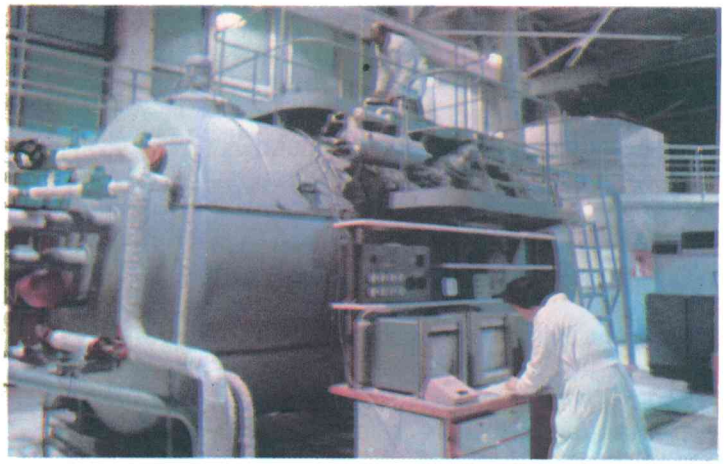
*Комплекс приборов для исследований планеты Венера*

*A package of instruments for investigating Venus*

*Пылеударный масс-анализатор ПУМА для исследования кометы Галлея*

*A dust-impact mass-analyzer PUMA for investigating Halley's comet*





*В состав Института входит контрольно-испытательная станция, оснащенная разнообразным оборудованием и установками для моделирования в наземных условиях воздействия на космический аппарат факторов активного участка траектории орбитального полета, спуска на Землю и т. п.: подготовка аппаратуры к испытаниям в термовакуумной установке; барокамера; термовакуумная установка для моделирования условий космического пространства. Масса 20 т, диаметр 2,8 м, длина 11,8 м, полезный объем 60 м$^3$*

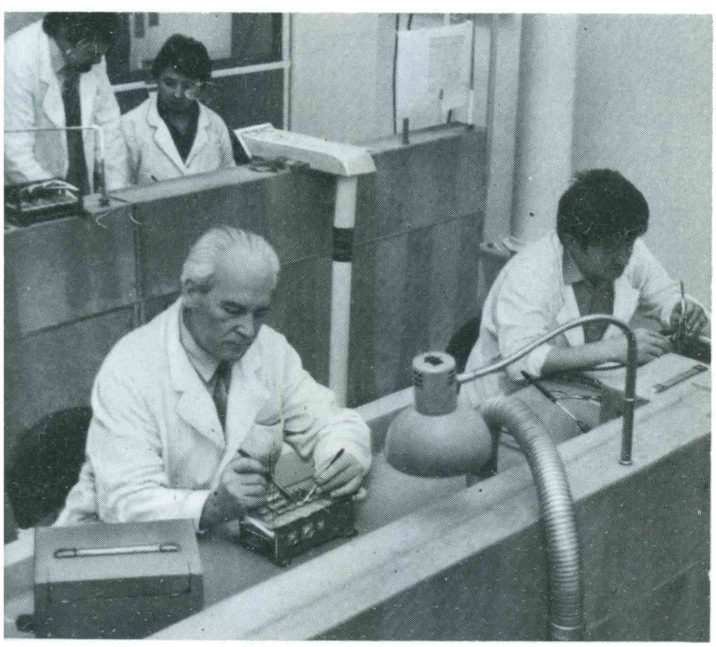
*The Institute has a control-testing facility equipped with most different devices and plants to simulating the effect of the active leg of the trajectory, the orbital flight, descent to Earth, etc. on spacecraft under terrestrial conditions. The instruments are being prepared for testing in a thermal-vacuum plant. Altitude chamber. Thermal vacuum plant for simulating space conditions. Mass — 20 t, diameter — 2.8 m, length — 11.8 m. Useful volume — 60 m$^3$*

*Монтаж плат и сборка радиоэлектронной аппаратуры для проекта «Вега»*

*Mounting of plates and assembly of radioelectron equipment for the Vega project*

*Идет обсуждение изготовленного технологического образца СВЧ-радиометра для спутника «Реликт-2»*

*The discussion of the technological model of the microwave radiometer manufactured for the Relikt 2 satellite*



# МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

# INTERNATIONAL CO-OPERATION

Чем активнее человек проникает в космос, тем больше мы убеждаемся в том, что изучение Вселенной, ее законов, влияния космических факторов на земные процессы жизненно необходимы для будущего всех жителей Земли. Число государств, участвующих в постановке исследований на борту космических аппаратов с каждым годом увеличивается.

The more actively man advances into space, the more convinced we are that studies of the Universe, its laws, the effect of space factors upon earth processes are quite vital for the future of all inhabitants of the Earth. The number of states taking part in arrangement of investigations on-board spacecraft increases annually.

Растет стремление государств объединять усилия для проведения совместных экспериментов, что позволяет не только в кратчайшие сроки решать сложные проблемы космонавтики, но и способствует научно-техническому прогрессу стран, установлению более тесных связей в области науки и техники.

Международное сотрудничество в космических исследованиях ныне осуществляется по многим каналам.

Имеются специально созданные для этой цели международные организации, действуют различные двусторонние и многосторонние соглашения, организуются конгрессы и конференции ученых, ведется обмен научной и технической информацией.

С созданием Института космических исследований АН СССР широко развернулись работы по подготовке научных программ и проектов, осуществляемых в кооперации с институтами и организациями как социалистических, так и капиталистических стран.

Начались практические работы в рамках программы «Интеркосмос» (спутники серии «Интеркосмос», геофизические ракеты «Вертикаль»). Были выполнены первые спутниковые эксперименты в рамках советско-французского сотрудничества («Аркад-1» в 1971 г., «Снег-1» и «Калипсо» в 1972 г., «Жемо» и «Аркад-2» в 1973 г., «Аракс» в 1975 г., «Снег-3» в 1977 г. и т. д.).

В 1975 г. состоялся полет советского и американского кораблей по программе «Союз» — «Аполлон». В полете была реализована совместно разработанная научная программа.

Первоначально в международном сотрудничестве основное место занимали проекты, выполнявшиеся на двусторонней основе.

Координация работ в таких проектах наиболее проста и позволяет использовать новейшие технические разработки, имеющиеся в каждой из стран. Благодаря сотрудничеству с французскими специалистами в рамках советско-французского проекта «Аркад-3» удалось разработать технологию металлизации солнечных панелей спутника «Ореол-3», позволившую значительно снизить уровень электромагнитных помех в диапазоне волновых измерений на этом спутнике и обнаружить ряд новых волновых излучений в магнитосфере.

Чехословацкие специалисты разработали бортовую вычислительную машину «Брод» для советско-чехословацкого проекта «Интершок», которая управляла комплексным экспериментом на борту и позволила получить качественно новые данные о структуре бесстолкновительных ударных волн, выделяя момент их пересечения космическим аппаратом по признаку, заложенному в бортовую вычислительную машину. Управление частью приборов спутника «Ореол-3» осуществлялось французской бортовой вычислительной машиной по программам, закладываемым с помощью радиокоманд с Земли. Использование технологии, разработанной в этих проектах, открывает новые возможности и для будущих экспериментов в космосе.

По мере совершенствования системы долгосрочного планирования и с учетом уже имеющегося опыта сотрудничества в сложившейся международной кооперации, начиная со второй половины 70-х гг. Институт все больше переходит от проведения отдельных экспериментов к реализации комплексных совместных программ и проектов, от двустороннего сотрудничества к многостороннему.

Была успешно выполнена научная программа пилотируемых полетов международных экипажей на советских космических кораблях. На разных стадиях разработки и осуществления находятся международные проекты «Интербол», «Активный», АПЭКС, «Гранат», «Спектр-Рентген-Гамма» и другие.

В этих проектах помимо ИКИ АН СССР и ряда других организаций Советского Союза принимают участие специалисты из Болгарии, Венгрии, Германии, Польши, Кубы, Румынии, Чехословакии, Австрии, Франции, Швеции...

Принципиально новый этап в практике международного сотрудничества был связан с разработкой и реализацией программы изучения кометы Галлея в 1986 г. Учитывая характер работ как при проведении наземных астрометрических наблюдений кометы, так и в период непосредственного ее исследования с борта космических аппаратов, национальные и международные агентства, ведущие работу в этом направлении, предприняли конкретные шаги по координации своих усилий. Такое решение обусловливалось, в частности, интересами рационального использования наземных средств для определения эфемерид кометы и координат космических аппаратов с использованием действующей международной сети радиоинтерферометров, осуществления оптимальных условий наблюдения кометы по результатам пролета первого космического аппарата и т. п.

Что касается конкретно проекта «Вега», в котором участвовало 9 стран, то при рассмотрении предложений по научной программе миссии и составу научной аппаратуры прежде всего учитывались научный и технический потенциал стран — участниц проекта, их опыт в разработке и создании приборов и систем. Это позволило наряду

с экономией собственных ресурсов решить вопрос создания аппаратуры в те сжатые сроки, которые определялись астрономическим окном запуска космических аппаратов для встречи с планетой Венера и кометой Галлея. Бортовые научные приборы проекта «Вега» отвечали самым последним достижениям науки и техники. В них нашли широкое применение такие перспективные элементы и компоненты, как координатно-чувствительные пластины, ПЗС-приемники, устройства, измеряющие времена пролета частиц, микропроцессоры и внутриприборные запоминающие устройства.

Проект «Вега» передал эстафету новому крупномасштабному проекту исследований небесных тел Солнечной системы «Фобос». В нем участвовали ученые уже 14 стран и Европейского космического агентства.

Своего рода рекордсменами по масштабам международной кооперации станут, по-видимому, проекты «Радиоастрон» и «Спектр-Рентген-Гамма». Так, для проекта «Радиоастрон» бортовую аппаратуру и средства обработки информации кроме Советского Союза будут разрабатывать Консорциум европейских радиообсерваторий, Технологический университет Финляндии, Австралийское научно-исследовательское общество, Австралийская радиоастрономическая обсерватория и Национальная радиоастрономическая обсерватория США.

В целом же Институт сотрудничает с организациями из более чем 20 зарубежных стран. Традиционными стали связи с такими научными и производственными коллективами, как Институт космических исследований Болгарской академии наук, Центральный научно-исследовательский институт физических исследований Венгерской академии наук, Центр исследований космических излучений и Национальный центр космических исследований в Тулузе (Франция), Центр ядерных исследований в Сакле (Франция), предприятие «Карл-Цейс-Йена» (Германия), научно-производственное объединение ИЗОТ (Болгария), Астрономический институт ЧСАН, Центр космических исследований Академии наук Польши и многими другими. С конца 70-х гг. реализуется плодотворное сотрудничество с Кирунским геофизическим институтом в г. Кируна (Швеция), Техническим университетом в г. Граце (Австрия), Институтом радиоастрономии им. М. Планка и другими ведущими в области космонавтики научными учреждениями Германии. Наконец, начиная с 1982 г. ИКИ АН СССР совместно с Лабораторией космических исследований Утрехтского университета (Нидерланды) и Институтом физики им. М. Планка (ФРГ) приступили к решению конкретных задач в области рентгеновской астрономии.

Кроме того, ученые Института ведут переписку и обмен результатами исследований более чем со 100 научными учреждениями различных стран мира.

Интенсивно используются существующие прямые линии связи ИКИ АН СССР — ЦИФИ ВАН (Венгрия), ИКИ АН СССР — КНЕС (Франция), ИКИ АН СССР — ИКИ БАН (Болгария) и ряд других.

Первая из них (с Национальным центром космических исследований в Тулузе) была открыта в 1979 г. Начало штатной эксплуатации этой линии, а также последующий ввод двух других подтвердили их жизненную необходимость и значительно повысили эффективность совместно осуществляемых работ. Сегодня они используются для передачи данных уже проведенных совместных проектов и экспериментов, данных испытаний и расчетов характеристик научных приборов, для оперативных согласований различных технических вопросов, связанных с разработкой и испытаниями приборов, решения организационных и других вопросов. Наконец, их можно рассматривать (и это важно подчеркнуть) как элемент в схеме управления комплексами научной аппаратуры в период реализации совместных научных космических программ. В этом случае специалисты имеют возможность оперативно принимать согласованные решения, в частности, по корректировке программы совместных исследований, изменению режимов работы бортовой аппаратуры и т. д. в случае возникновения «нештатных» ситуаций.

Ежегодно Институт принимает около 300 иностранных делегаций на самых различных уровнях, включая партийно-правительственные делегации во главе с руководителями стран. Общее число зарубежных гостей достигает полутора — двух тысяч в год.

Зарубежные ученые — частые гости и ОКБ Института в г. Фрунзе. Здесь побывали специалисты многих стран, участвующих в работах по программе «Интеркосмос».

Наряду с созданием бортовой научной аппаратуры по программе «Интеркосмос» ОКБ оказывает им помощь в разработке отдельных узлов приборов для космических исследований, проводит консультации по вопросам проектирования.

Коллектив Института космических исследований Академии наук СССР принимает активное участие в деятельности Комитета советских ученых в защиту мира против ядерной угрозы.

Their aspiration for uniting efforts in carrying out joint experiments grows either, thus making it feasible to cope with complicated problems of aeronautics not only at the earliest possible date, but it also promotes research and development in countries, establishment of closer contacts in the domain of science and technology.

International co-operation in space research is maintained currently along many channels. There are specially founded international organizations, numerous bilateral and multilateral agreements; international congresses and conferences of scientists are convened, scientific and technical information is exchanged.

After the Space Research Institute of the USSR AS was founded, widescale activities commenced on elaborating scientific programmes and projects that were put into effect in co-operation with institutes and organizations in socialist and capitalist countries.

Practical work started within the framework of the *Intercosmos* programme (a series of *Intercosmos* satellites, geophysical rockets *Vertical*).

The first satellite experiments were implemented within the framework of Soviet-French co-operation (*Arcad* 1 in 1971, *Signe 1* and *Calipso* in 1972, *Gemeaux* and *Arcad* 2 in 1973, *Araks* in 1975, *Signe 3* in 1977, etc.).

1975 saw the joint flight of the Soviet and American spacecraft in *Apollo-Soyuz* Test Project where a jointly elaborated scientific programme was realized during the flight.

Bilateral projects in international co-operation were initially most popular. Co-ordination of work in such projects is most simple and makes it feasible to utilize innovations that every country has at its disposal. Thanks to co-operation with French specialists within the framework of the Soviet-French project *Arcad 3,* a technology for depositing a metal coating on the solar-battery panels of the satellite *Oreol 3* has been developed, that reduced substantially the level of electromagnetic interference in the wave measurements on board the satellite and contributed to discovering new wave radiation in magnetosphere.

Czechoslovakian specialists have developed an on-board computer *Brod* for the Soviet-Czechoslovakian project *Intershock* that controlled an interdisciplinary experiment on board the spacecraft and yielded qualitatively new data on the structure of collisionless shock waves, recording the moment of crossing the latter in accordance with the criterion memorized by the on-board computer.

Some of the devices on board the *Oreol 3* satellite were controlled by a French computer according to programmes transmitted from the Earth by radio.

The utilization of technology developed in these projects opens up new vistas for future space experiments. As the system of long-term planning improved and the experience gained in the world co-operation was taken into account, beginning with the mid-70s, the Institute shifts more and more from individual experiments to integrated joint programmes and projects, from bilateral to multilateral cooperation.

The research programme of the flights of international crews on Soviet spacecraft had been a success. The following international projects are currently at different stages of development and accomplishment: *Interball, Active,* APEX, *Granat, Spectr-Roentgen-Gamma,* etc.

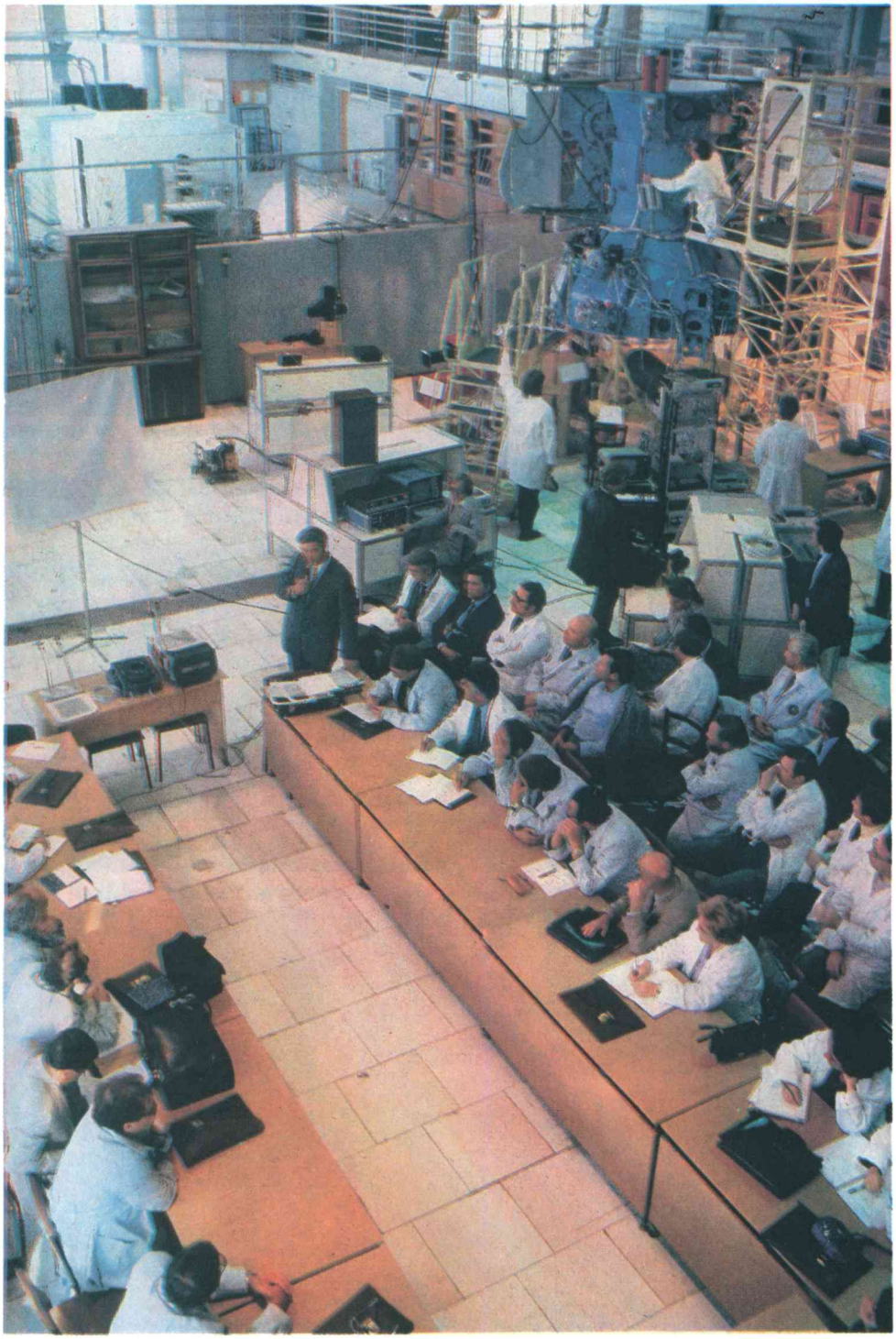
Besides the Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences and some other organizations of the Soviet Union, participants in these projects are also specialists of Bulgaria, Hungary, the Germany, Poland, Cuba, Rumania, Czechoslovakia, Austria, France, Sweden...

A principally new stage in the world co-operation is associated with the development and implementation of the programme of studying Halley's comet in 1986. Taking into account the nature of work during ground-based astrometric observations of the comet and its "in-situ" study with spacecraft, national and international agencies, working in this direction, have elaborated concrete measures for co-ordinating their efforts. The decision was stipulated, in particular, by the interests of rational utilization of ground-based means for determining the ephemerides of the comet, the co-ordinates of the spacecraft by means of the existing international network of radio interferometers, introducing optimum conditions for observing the comet by the results of the encounter of the first spacecraft, etc. As far as the *Vega* project is concerned, which involves 9 countries-participants, the scientific and technological potential of the member countries of the project, as well as their experience in developing and building instruments and systems were considered when analyzing proposals for the scientific programme of the mission and the scientific equipment. Alongside the saving of our own resources, this has made it feasible to tackle the problem of developing equipment within the time limits predetermined by the astronomical window of launching the spacecraft to encounter with Venus and Halley's comet. The on-board research instruments of the *Vega* project met the up-to-date requirements of science and technology. They incorporate such prospective elements and components as co-ordinate-sensitive microchannel plates,

CCD-sensors, particle time of flight detectors, microprocessors and memories in individual instruments.
The project *Vega* handed on the torch to a new largescale project on investigating of celestial bodies of the Solar system *Phobos*. Scientists from 14 countries and the European Space Agency take part in the project.
The projects *Radioastron* and *Spectr-Roentgen-Gamma* will, evidently, become so-to-say record-holders as regards the scale of world co-operation. Thus, for the *Radioastron* project on-board instrumentation and information processing means will be developed by, besides the Soviet Union, the Consortium of European radio observatories, Technological University of Finland, the Australian Research Society, the Australian radio astronomic observatory and the US National radio astronomic observatory.
The Institute co-operates in whole approximately with organizations in 20 foreign countries. The ties have become traditional with such scientific organizations and production collectives as the Space Research Institute of Bulgarian Academy of Sciences, Central Institute for Physical Research of the Hungarian Academy of Sciences, Centre d'Etudes Spatiales des Rayonnements and Centre National d'Etudes Spatiales in Toulouse (France), Centre d'Etudes Nucleaire de Saclay (France), enterprise Carl Zeiss Jena (Germany), Scientific and production corporation IZOT (Bulgaria), Astronomic Institute of Czechoslovakian AS, Space Research Centre of Academy of Sciences of Poland and many others. And, finally, beginning with 1982 the Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences in co-operation with the Laboratory of Space Research of the Utrecht University (the Netherlands) and the M. Planck Institut für Extraterrestrische Physik started to solve concrete problems in the area of X-ray astronomy. Besides that, scientists of the Institute correspond and exchange experimental results with more than 100 scientific organizations in different countries worldwide.
Intensive use is made of the existing communications hot lines between: Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences and Central Institute for Physical Research of the Hungarian Academy of Sciences, the Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences and CNES (France), and the Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences and the Space Research Institute of the Bulgarian Academy of Sciences.
The first line (to the Centre National d'Etudes Spatiales in Toulouse) was commissioned in 1979. The beginning of operational use of that line as well as the subsequent introduction of the two others into service confirmed their vital necessity and increased substantially the effectiveness of the work being performed jointly. Today they are employed for the transfer of the data of the already accomplished joint projects and experiments, data on tests and estimations of characteristics of equipment, for fast co-ordination of various technical problems associated with the development and testing of instruments, for tackling organizational and other problems. Finally, they may be considered (and it is worth noting this) as an element in the scientific package management system when implementing joint scientific space programmes. Specialists are able in this case to make fast and co-ordinated decisions, in particular, on correcting programmes for joint investigations, on changing the operational regimes of the on-board equipment, etc. in case of emergencies.
The Institute receives about 300 foreign delegations annually at most different levels, including party and governmental delegations headed by the leaders of respective states. The total number of foreign guests amounts to 1500 to 2000 per year.
Foreign scientists are frequent guests also at the Special Design Bureau of the Institute in Frunze. It has been visited by specialists of many countries that participate in the Intercosmos programme. Alongside the creation of on-board research equipment for the Intercosmos programme, the Special Design Bureau assists them in developing individual units of instruments for space research, consults on designing.
Researchers of the Space Research Institute of the USSR Academy of Sciences take an active part in the work of the Committee of Soviet scientists for Peace against the nuclear threat.

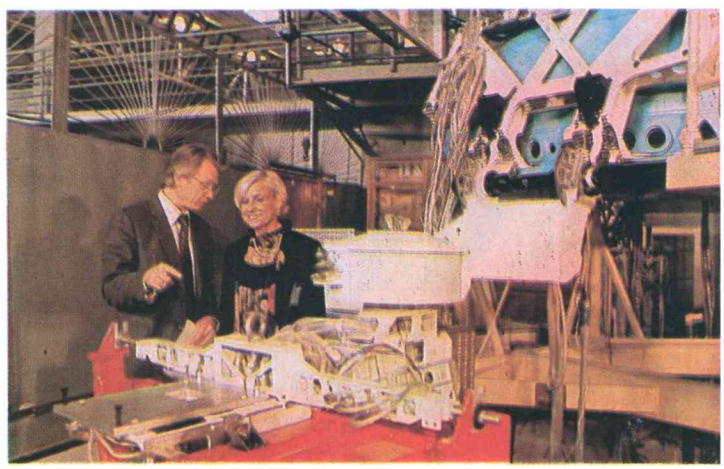
*Проект «Вега». Характерной особенностью проекта стало широкое участие в нем иностранных ученых и специалистов на уровне космических агентств, институтов и отдельных исследователей. Для коллективного решения вопросов совместной работы по проекту был создан Международный научно-технический совет под председательством академика Р. З. Сагдеева*

*Vega Project. The characteristic feature of the Project is the participation of foreign scientists and specialists from many space agencies and institutes. The International Scientific and Technical Council has been established under the Chairmanship of Academician R. Z. Sagdeev to solve jointly the problems of the co-operative activity within the Project*



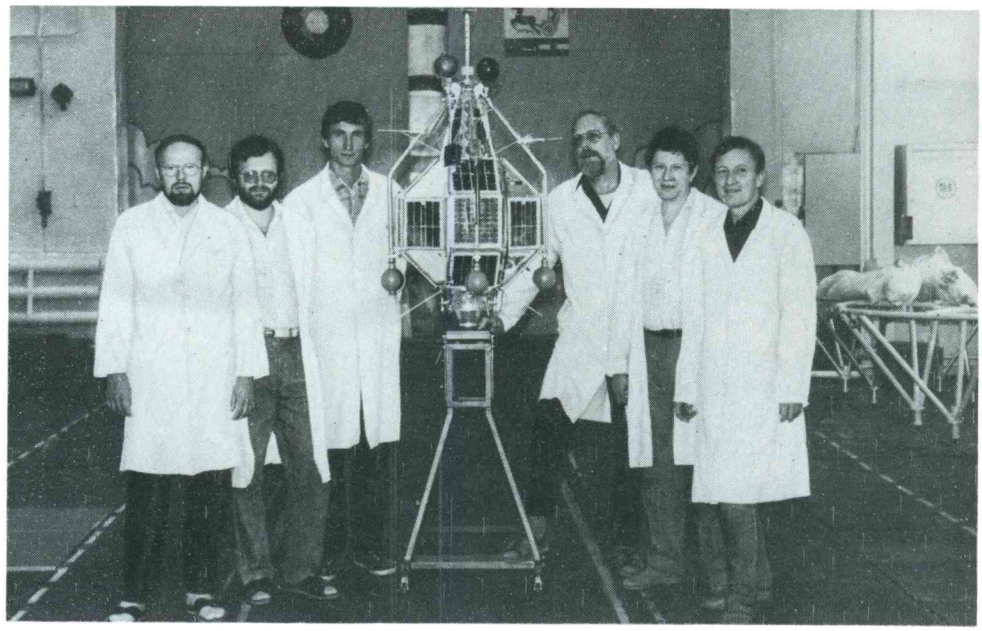
*В международной кооперации (СССР, Австрия, Болгария, Венгрия, ГДР, Польша, США, Франция, ФРГ, ЧССР) разрабатывался весь комплекс научной аппаратуры*

*The whole scientific payload was developed in the framework of international co-operation (Austria, Bulgaria, Chechoslovakia, France, the FRG, the GDR, Hungary, Poland, the USA, the USSR)*



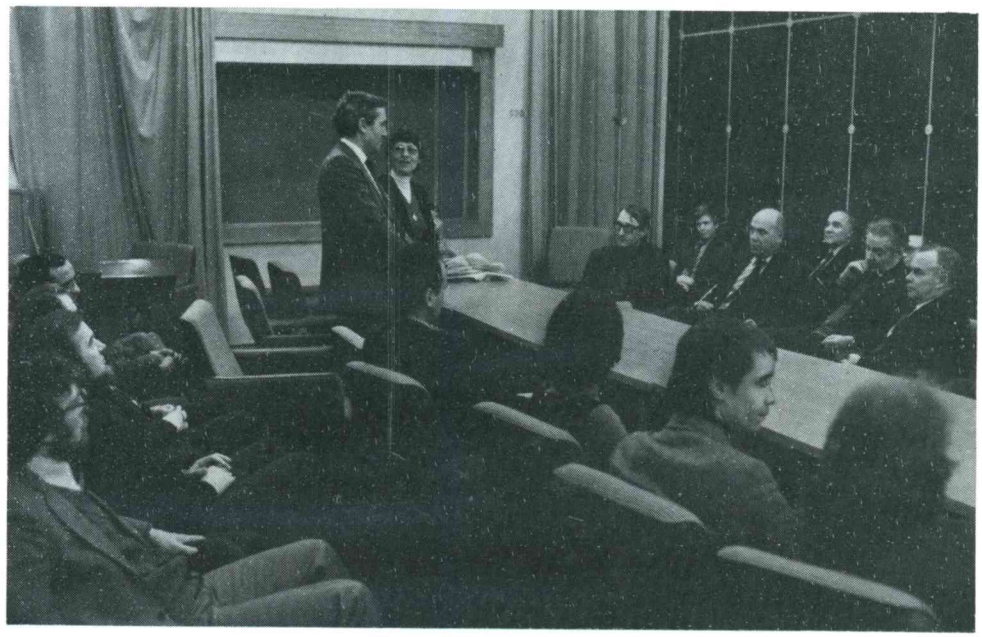
*Чехословацкие специалисты — разработчики субспутника С2 АС в монтажно-испытательном корпусе космодрома Плесецк*

*Specialists from Czechoslovakia, who were responsible for the S2 AK subsatellite design, in the assembly-testing hall of the Plesetsk cosmodrom*



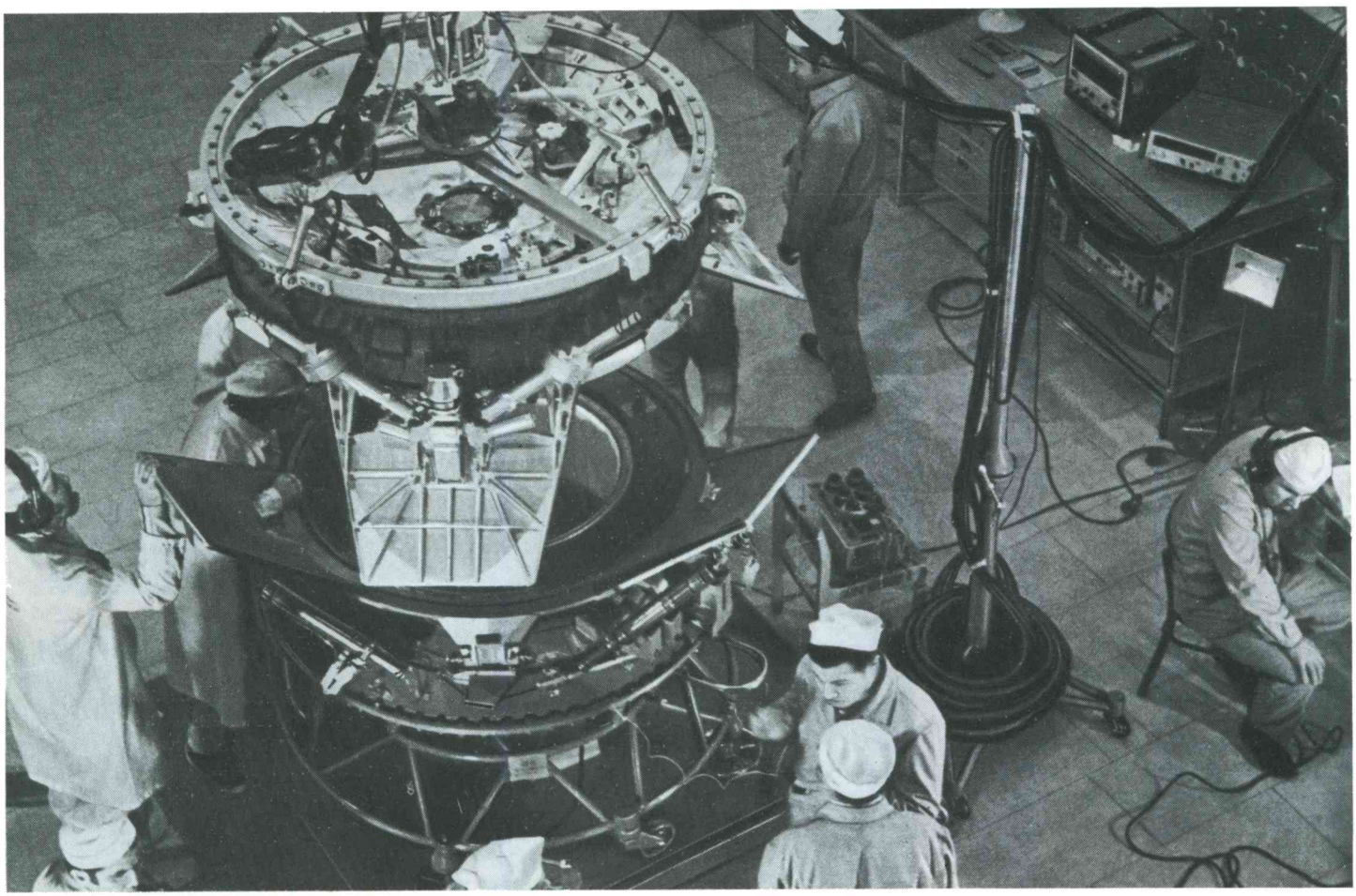
*Перед учеными Института выступает директор Космического центра в Тулузе Жан-Клод Юссон*

*Jean-Claude Husson, Director of Centre National d'Etudes Spatiales in Toulouse, is speaking to the sicentists of the Institute*



*Советские и шведские ученые обсуждают результаты совместного эксперимента «Промикс», выполненного на борту советского космического аппарата*

*Soviet and Swedish scientists discussing the results of the joint experiment Promics on board Soviet spacecraft*



*В 1975 г. состоялся первый совместный советско-американский экспериментальный космический полет по программе «Союз» — «Аполлон». На снимке: испытания стыковочных узлов кораблей на летно-испытательной станции Института*

*The first joint Soviet-American test space flight under the Apollo—Soyuz program was held in 1975. The photograph illustrates testing of the docking units of the spacecraft at the flight test station of the Institute*

*Американские астронавты — участники полета по программе «ЭПАС» знакомятся с ходом работ по проекту «Вега»*

*American astronauts—the crew members in the flight within the EPAS Program—visit the Institute to get knowledge about the Vega Project*

*Специалисты ГДР знакомятся с первыми снимками, выполненными из космоса камерой МКФ-6*

*Specialists of the GDR are analyzing the photographs made in space by the MKF-6 camera*

*Подписание договора о научном сотрудничестве в области космического материаловедения между ИКИ АН СССР и DFVLR ФРГ*

*The signing of the protocol about the scientific cooperation on space materials science between the Space Research Institute, USSR Academy of Sciences and the DFVLR, the FRG*

*Подписание протокола юбилейной 25-й советско-французской рабочей группы по космосу*

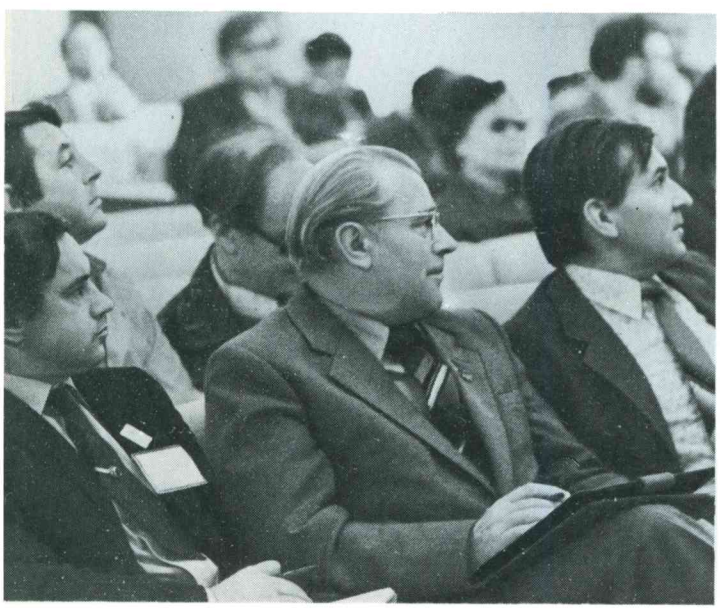
*The signing of the protocol of the 25-th Anniversary meeting of the Soviet-French Group on Space*

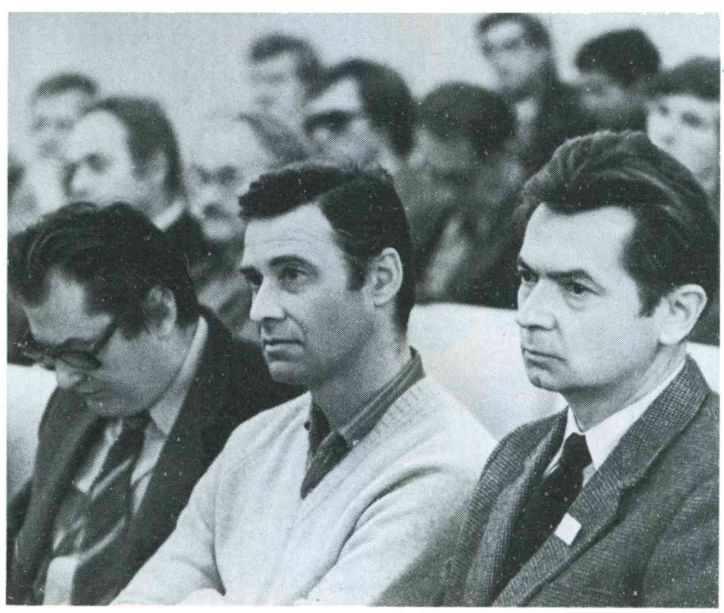
*Подписание протокола о сотрудничестве (крайний слева — президент Космического агентства Великобритании)*

*The signing of the protocol on the cooperation (the last at the left is the President of the Space Agency of the United Kingdom)*

*Уникальная аппаратура, отправляемая в космос, создается совместными усилиями специалистов разных стран. Представители стран — участниц программы «Интеркосмос» на рабочей группе во Львове обсуждают проблемы космического научного приборостроения*

*The unique instrumentation to be launched on board the spacecraft is developed in cooperation with specialists from different countries. Representatives of the member contries of the Intercosmos Program during the Working Group meeting in L'vov are discussing problems of space instrument engineering*



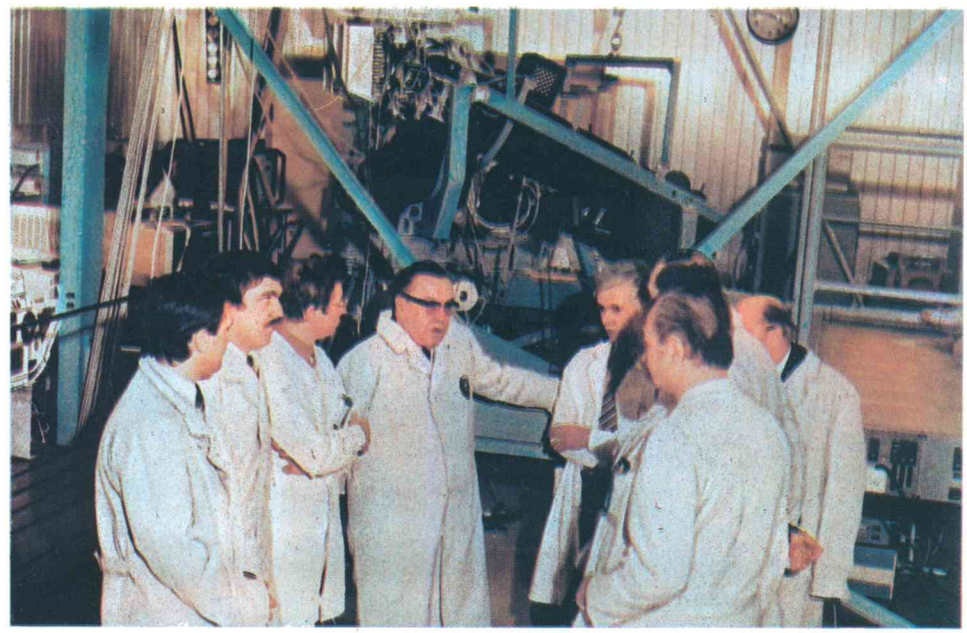


*Болгарский космонавт Александр Александров и французский космонавт Жан-Лу Кретьен — гости Института*

*Aleksandr Aleksandrov, the Bulgarian cosmonaut, and Jean-Loup Cretien, the French cosmonaut—the guests of the Institute*

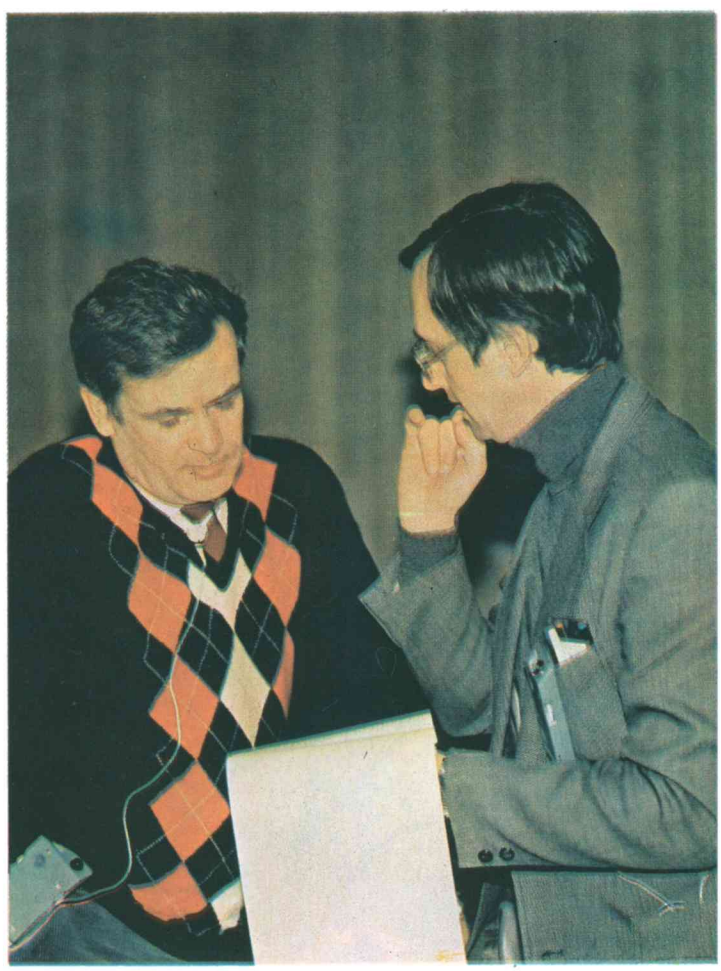
*В Чехословакии по проекту «Вега» была разработана сканирующая платформа, предназначенная для наведения научной аппаратуры на комету. Посол ЧССР Честмир Ловетинский и чехословацкие специалисты в ИКИ АН СССР на испытаниях платформы (1985 г.)*

*A scanning platform for aiming the scientific instruments at the comet has been developed in Czechoslovakia for the Vega project. The purpose of this platform is unique in the practice of space scientific instrument engineering. Tchestimir Lovetinsky, Ambassador of CSSR and Chechoslovakian specialists are observing the testing of the platform at the Space Research Institute*



*Советские и чехословацкие специалисты готовят к испытаниям научную аппаратуру по проекту «Интершок»*

*Soviet and Czechoslovakian specialists preparing to test the scientific instrumentation for the Intershock project*



*Проблемы экологии волнуют сегодня всех людей Земли независимо от их профессий. Грозит ли планете климатическая катастрофа? Этот вопрос обсуждали собравшиеся в Институте космических исследований на телеконференцию Москва — Вашингтон ученые, общественные деятели, деятели культуры двух стран*

*Problems of ecology is now a work for people of the Earth independent of their profession. Is the planet under the threat of ecological catastrophe? This problem was discussed by scientists, public men, actors from the USSR and the USA during the Moscow-Washington Teleconference held at the Space Research Institute*

ББК 39.6г
УДК 629.78

Авторы: Г. А. АВАНЕСОВ, В. М. БАЛЕБАНОВ, Ю. И. ЗАЙЦЕВ, Л. М. ЗЕЛЕНЫЙ, Н. С. КАРДАШЕВ, В. С. КОРНИЛЕНКО, Ю. Г. КРУГОВ, В. Г. КУРТ, М. С. МАЛКЕВИЧ, В. И. МОРОЗ, С. П. ПЕРЕЛЫГИН, Е. Р. ПОЖАЛОВА, В. Н. ПОКРОВСКИЙ, Л. Л. РЕГЕЛЬ, И. А. СТРУКОВ, В. А. СЮНЯЕВ, Г. М. ТАМКОВИЧ, В. И. ФУКС, В. И. ШЕВЧЕНКО, П. Е. ЭЛЬЯСБЕРГ

Ц38 **Центр** советской космической науки/*Г. А. Аванесов, В. М. Балебанов, Ю. И. Зайцев* и др.; Под общ. ред. *А. А. Галеева, Р. З. Сагдеева.*— М.: Машиностроение, 1991.— 160 с.: ил.

ISBN 5-217-00706-0

Институт космических исследований АН СССР — признанный центр советской космической науки. Созданный в 1965 г. на базе ряда отделов и лабораторий различных институтов Академии наук и других ведомств, Институт является головной организацией АН СССР и Совета «Интеркосмос» в области научных исследований космического пространства, планет Солнечной системы и других объектов Вселенной. ИКИ АН СССР поручены также подготовка и обоснование программ космических исследований, разработка, испытания и применение научной аппаратуры для этих исследований, обеспечение международного сотрудничества в исследованиях космоса.

Об основных направлениях научно-технической деятельности Института космических исследований АН СССР, наиболее интересных его работах, полученных результатах, о многогранной творческой деятельности научного коллектива рассказывает эта книга.

**Ц $\frac{3500000000-408}{038(01)-91}$ Без объявл.**

**ББК 39.6г**

ISBN 5-217-00706-0 © Институт космических исследований АН СССР, 1991

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЕ ИЗДАНИЕ

Аванесов Генрих Аронович, Балебанов Вячеслав Михайлович, Зайцев Юрий Иванович и др.

ЦЕНТР СОВЕТСКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ НАУКИ

Редакторы Е. И. КРАВЧЕНКО, О. С. РОДЗЕВИЧ
Перевод на английский язык и редактирование выполнены Всесоюзным центром переводов
Переплет и макет художника *В. В. ЛЕБЕДЕВА*
Цветные иллюстрации и схемы выполнены А. Г. МЕЙСТЕРОМ
Ретушь иллюстраций Ю. И. ПОКАМЕСТОВ.
Художественный редактор В. В. ЛЕБЕДЕВ
Технические редакторы Н. Н. СКОТНИКОВА, Л. П. ГОРДЕЕВА
Корректоры Т. В. БАГДАСАРЯН, О. Ю. САДЫКОВА

Н/К
Сдано в набор 25.09.89.
Подписано в печать 12.12.90.
Гарнитура Гельветика.
Формат 60 × 90 $^1/_8$ Бумага мелованная.
Печать офсетная.
Усл. печ. л. 20,0. Усл. кр.-отт. 82,0.
Уч.-изд. л. 21,47.
Тираж 5000 экз. Заказ 6233.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Машиностроение» 107076, Москва, Стромынский пер., 4

Отпечатано в типографии издательства «Омская правда»; 644056, Омск, пр. Маркса, 39, с диапозитивов, изготовленных в ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая Образцовая типография» Госкомпечати СССР, 113054, Москва, Валовая, д. 28.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

SPACE RESEARCH
INSTITUTE
ACADEMY OF SCIENCES,
USSR

117810 Москва ГСП-1
Профсоюзная ул. 84/32
Телефон: 2302585
Телекс: 411498
Телефакс: 70953107023

Profsojusnaja 84/32
117810 Moscow USSR
Telephone: 2302585
Telex: 411498 STAR SU
Telefax: 70953107023