ISSN 0044-3948

Земля и Вселенная

КОСМОНАВТИКА
АСТРОНОМИЯ
ГЕОФИЗИКА

НОЯБРЬ–ДЕКАБРЬ 6/2006

К 175-летию ГАИШ МГУ

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
"Наука"
Москва

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

6/2006

Новости науки и другая информация: Новый статус Плутона? [15]; Солнце в июне–июле 2006 г. [26]; Работа марсоходов [91]

В номере:

К 175-ЛЕТИЮ ГОСУДАРСТВЕННОГО АСТРОНОМИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. П.К. ШТЕРНБЕРГА

3 ЧЕРЕПАЩУК А.М. ГАИШ МГУ – от истоков до наших дней
16 ЕФРЕМОВ Ю.Н., РАСТОРГУЕВ А.С. Московская школа звездной астрономии: история и современность
28 РУДЕНКО В.Н. Шепот Вселенной
39 ЖАРОВ В.Е., КУИМОВ К.В. Астрометрия XXI века: настоящее и будущее
47 ШЕВЧЕНКО В.В. Неразгаданная тайна Луны
54 УРАЛЬСКАЯ В.С. Необычные объекты Солнечной системы
64 СОМОВ Б.В., ХЛЫСТОВ А.И. Астрофизики изучают атмосферу Земли
71 КОНОНОВИЧ Э.В. Гелиосейсмология как метод изучения Солнца
80 ЕСИПОВ В.Ф., ГИНДИЛИС Л.М., ГОРШКОВ А.Г., РУДНИЦКИЙ Г.М. Становление всеволновой астрономии в ГАИШ
92 МЕНЦИН Ю.Л. Музей истории университетской обсерватории и ГАИШ

ЛЮДИ НАУКИ

97 Памяти Леонида Васильевича Лескова

ПОЛНОЕ СОЛНЕЧНОЕ ЗАТМЕНИЕ – ГЛАВНОЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ УХОДЯЩЕГО ГОДА

99 ЯЗЕВ С.А., БАТМУНХ ДАМДИН, БАРАБАНОВ С.И. Наблюдения полного солнечного затмения на пике Терскол
102 БЕЛОУСОВ В.В. 195 секунд полной фазы

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

104 Небесный календарь: январь–февраль 2007 г.
109 Указатель статей и заметок, опубликованных в журнале "Земля и Вселенная" в 2006 г.

© Российская академия наук
© Редколлегия журнала
"Земля и Вселенная" (составитель), 2006 г.

Zemlya i Vselennaya (Earth and Universe); Moscow, Maronovsky per., 26, f. 1965, 6 a year; by the Nauka (Science) Publishing House; Joint edition of the Russian Academy of Sciences and the Society of Astronomy and Geodesy; popular; current hypotheses of the origin and development of the Earth and Universe; astronomy, geophysics and space research; Chief Editor V.K. Abalakin; Deputies Editors V.M. Kotlyakov, E.P. Levitan

На стр. 2 обложки: Изолированный звездный комплекс в спиральной галактике NGC 6946, расположенной в созвездии Цефея на расстоянии 10 млн. св. лет. Он содержит молодое сверхмассивное скопление, что большая редкость для периферических областей обычных галактик. Кинематика ионизованного газа в комплексе, наблюдаемая на 6-м телескопе САО РАН, показала, что он быстро движется, с чем, возможно, и связано возникновение сверхскопления. Скорее всего, это движение происходит под воздействием на межзвездную среду массивных звезд скопления. Снимок получен 18 марта 1999 г. Космическим телескопом им. Хаббла, NASA (к ст. Ю.Н. Ефремова и А.С. Расторгуева).

На стр. 4 обложки: Туманность NGC 6888 Полумесяц в созвездии Лебедя, удаленная от нас на 5 тыс. св. лет. Пузырь ионизованного газа диаметром 25 св. лет раздувается звездным ветром от яркой массивной звезды Вольфа – Райе (WR 136), находящейся внутри туманности. Эмиссионные линии водорода H_α окрашены в красный цвет, кислорода O III – в синий и серы S II – в желтый. Мозаика изображений получена в июле 2006 г. с помощью 0.9-м телескопа обсерватории Китт Пик (Чили).

In This Issue:

TO THE 175TH ANNIVERSARY OF P.K. STERNBERG'S STATE ASTRONOMIC INSTITUTE

3 CHEREPASHOOK A.M. Sternberg's State Astronomic Institute of Moscow State University – From Origin to Our Days
16 EFREMOV YU.N., RASTORGUEV A.S. Moscow Shool of Star Astronomy: Histrory and the Present
28 RUDENCO V.N. Whisper of the Universe
39 ZHAROV V.E., KUIMOV K.V. Astrometry of the XXI st Century: The Presend and Future
47 SHEVCHENCO V.V. Undisclesed Secret of the Moon
54 URALSKAYA V.S. Unusual Objectives of the Planetary System
64 SOMOV B.V., KHLYSTOV A.I. Astrophysicians Investigate Earth's Atmosphere
71 KONONOVITCH E.V. Gelioseismology As a Method of Researching the Sun
80 ESIPOV V.F., GINDILIS L.M., GORSHKOV A.G., RUDNITZKIJ G.M. Forming All-Wave Astronomy in Sternberg's State Astronomic Institute
92 MENTZYN Ju.L. Museum of History of University Observatory and Sternberg's State Astronomic Institute

PEOPLE OF SCIENCE

97 To the Memory of Leonid Vasiljevitch Leskov

COMPLETE SUN ECLEPSE – MAIN ASTRONOMIC EVENT OF PASSING YEAR

99 JAZEV S.A., BUTMOONKH DUMDIN, BARABANOV S.I. Wathing Complete Sun Eclipse on Peak Terskol
102 BELOUSOV V.V. 195 Second of Full Phase

AMATEUR ASTRONOMY

104 Celestial Calendar: January–February 2007
109 Index of Articles and News Published in "Earth and Universe" in 2006

Редакционная коллегия

Главный редактор член-корреспондент РАН В.К. АБАЛАКИН
Зам. главного редактора академик В.М. КОТЛЯКОВ
Зам. главного редактора доктор педагогических наук Е.П. ЛЕВИТАН
доктор физ.-мат. наук А.А. ГУРШТЕЙН,
член-корр. РАН Л.М. ЗЕЛЕНЫЙ,
доктор филос. наук В.В. КАЗЮТИНСКИЙ,
доктор физ.-мат. наук Л.И. МАТВЕЕНКО,
член-корр. РАН И.И. МОХОВ, член-корр. РАН А.В. НИКОЛАЕВ,
член-корр. РАН И.Д. НОВИКОВ, доктор техн. наук Г.А. ПОЛТАВЕЦ,
доктор геол.-мин. наук Г.И. РЕЙСНЕР,
доктор физ.-мат. наук Ю.А. РЯБОВ,
академик АН Молдовы А.Д. УРСУЛ, академик А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук В.В. ШЕВЧЕНКО

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга (ГАИШ) – один из научно-исследовательских институтов Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. В настоящее время это крупнейший центр астрономических исследований и подготовки научных кадров в России. Исследования, ведущиеся в ГАИШ, охватывают практически все направления современной астрономии: небесную механику, космологию, радиоастрономию, физику Солнца, изучение Луны и планет Солнечной системы, физику звезд и межзвездной среды, изучение Галактики, внегалактическую астрономию, релятивистскую астрофизику, гравитационно-волновую астрономию, изучение параметров вращения глобального строения Земли и координатно-временное обеспечение страны.

Сотрудники ГАИШ МГУ, в основном постоянные авторы нашего журнала, представляют ряд статей, посвященных 175-летию своего Института. Эту подборку открывает статья директора ГАИШ академика А.М. Черепащука.

ГАИШ МГУ – от истоков до наших дней

А. М. ЧЕРЕПАЩУК,
академик

ОБСЕРВАТОРИЯ НА ПРЕСНЕ

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга входит в число старейших отечественных научных учреждений. Он неразрывно связан с историей российской науки, культуры, общественно-политической жизни, но в первую очередь – с историей Московского университета, который в 2005 г. отметил свой 250-летний юбилей.

Начало преподавания астрономии в Московском университете было положено профессором И.А. Ростом (1726–1791) еще в

© Черепащук А.М.

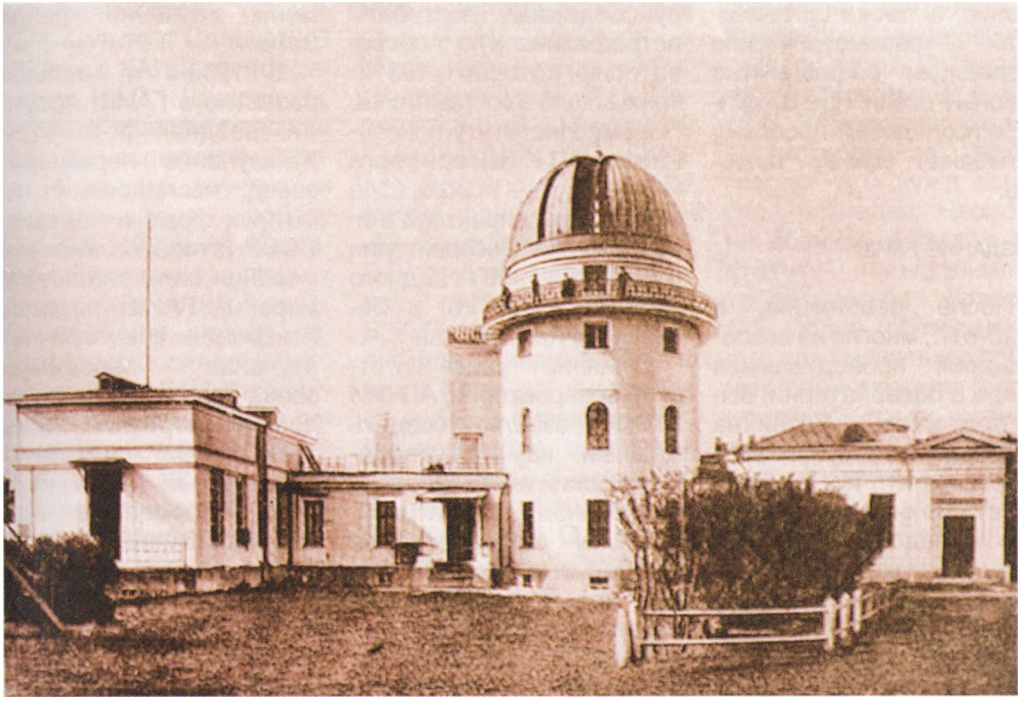
Профессор Дмитрий Матвеевич Перевощиков – создатель и первый директор Астрономической обсерватории Московского университета.

1760-е гг., то есть несколько лет спустя после образования Московского университета (1755). Из-за отсутствия в Университете обсерватории астрономия долгое время оставалась преимущественно теоретической наукой в рамках курсов физики и математики. Как самостоятельная дисциплина астрономия впервые появилась в расписаниях лекций лишь в 1800 г.

В 1804 г. на Отделении физических и математических наук была учреждена кафедра *"астрономии наблюдательной"*. В этом же году Московский университет стал обладателем своей первой обсерватории с небольшим телескопом. Главная заслуга в ее создании и оснащении необходимыми астрономическими инструментами принадлежала **М.Н. Муравьеву** (1757–1807) – первому попечителю Московского учебного округа. Обсерватория размещалась в деревянной башне на крыше главного университетского здания на Моховой. К сожалению, в 1812 г. во время пожара в Москве обсерватория вместе со всеми инструментами погибла.

Новую обсерваторию, ставшую впоследствии базой для создания ГАИШ, удалось построить только в 1831 г. Она располагалась в районе Пресненской заставы (см. статью Ю.Л. Менцина в этом номере). Создателем и первым директором этой обсерватории стал профессор астрономии **Д.М. Перевощиков** (1788–1880) – ученый-просветитель, ректор Московского университета, действительный член Петербургской Академии наук. Согласно плану, разработанному Д.М. Перевощиковым, обсерватория на Пресне предназначалась не только для обучения, но и для научных исследований. Поэтому ее главное здание построили из камня, с фундаментом, позволявшим устанавливать большие высокоточные астрономические инструменты.

Строительство обсерватории началось весной 1830 г., а 29 ноября (11 декабря) 1831 г. Министерство народного просвещения получило годовой отчет Московского университета, в котором сообщалось, что *"здание обсерватории приведено к окончанию"* и на ней



Астрономическая обсерватория Московского университета на Пресне (начало XX в.).

выполнены первые наблюдения. В соответствии с традицией датой основания астрономического учреждения принято считать день начала наблюдений в обсерватории, на базе которой оно создано. Поэтому считается, что ГАИШ основан **29 ноября (11 декабря) 1831 г.**

Использование университетской обсерватории для научных исследований требовало ее регулярной модернизации, которая началась в 1840-х гг. Необходимы были новое оборудование и новые помещения. Наиболее масштабная модернизация обсерватории осуществлена на рубеже XIX в. и XX в. под руководством ее директора – выдающегося астронома **В.К. Цераского** (1849–1925).

К началу XX в. обсерватория вошла в число наиболее передовых обсерваторий мира. Сложившиеся в ней научные традиции способствовали воспитанию ряда знаменитых астрономов. Трое из них (Ф.А. Бредихин, А.А. Белопольский, А.А. Михайлов) впоследствии стали директорами Пулковской обсерватории, в то время самой большой в мире. В середине XIX – начале XX в. на обсерватории был выполнен ряд фундаментальных исследований. Ф.А. Бредихин разработал полную механическую теорию кометных форм и провел первые в России спектральные наблюдения небесных объектов, в том числе Солнца. В.К. Цераский открыл серебристые облака, первым в мире определил звездную величину Солнца и нижнюю границу температуры его поверхности. Кроме того, совместно с С.Н. Блажко, Л.П. Цераской и П.К. Штернбергом он заложил основы отечественной астрофотометрии, начав систематическое фотографирование звездного неба с целью открытия и изучения переменных звезд. Обсерватория стала одним из пионеров в области гравиметрических исследований. Б.Я. Швейцер, Ф.А. Бредихин и П.К. Штернберг детально изучили Московскую гравитационную ано-

малию, а также организовали гравиметрические экспедиции в различные районы России. П.К. Штернберг исследовал проблему колебания земных полюсов.

СОЗДАНИЕ ГАИШ

После революции, в 1920-е гг., многие из исследований, проводившихся ранее в обсерватории, были продолжены. Возникла необходимость существенно расширить их, а также начать принципиально новые исследования. Для решения этих задач требовалось объединение астрономических мощностей.

На основании решения Коллегии Наркомпроса РСФСР от 29 июня 1931 г., утвержденного 29 октября 1931 г. СНК РСФСР, был образован ГАИШ путем слияния Астрономической обсерватории Московского университета, Астрономо-геодезического научно-исследовательского института (АГНИИ) и Государственного астрофизического института (ГАФИ). АГНИИ входил в Ассоциацию научно-исследовательских институтов Московского университета, созданную в 1922 г. Базой нового Института стала Астрономическая обсерватория, а его директором назначили **С.Н. Блажко** (1870–1956), руководившего обсерваторией с 1920 г. Директор ГАФИ (создан в 1923 г.) **В.Г. Фесенков** (1889–1972) был одним из главных инициаторов образования ГАИШ. В 1925 г. в поселке Кучино (Московская обл.) под его руководством построили астрофизическую обсерваторию, которая в 1931 г. тоже вошла в состав ГАИШ. Новому Институту присвоили имя **П.К. Штернберга** (1865–1920) – профессора астрономии, директора университетской обсерватории с 1916 г. по 1920 г., видного деятеля РСДРП(б) и Советского государства.

Слияние университетской обсерватории, АГНИИ и ГАФИ позволило создать мощный, научно-исследовательский институт с разнообразной тематикой. В ГАИШ сформировался ряд научных школ, оказавших большое влияние на развитие как отечественной, так и мировой астрономии. Это школы *астрофизики* (В.Г. Фесенков, С.В. Орлов, Б.А. Воронцов-Вельяминов), *астрометрии* (С.Н. Блажко, М.С. Зверев, А.Я. Орлов, Е.Я. Бугославская), *звездной астрономии* (К.Ф. Огородников, П.П. Паренаго, Б.В. Кукаркин, Б.М. Щиголев), *небесной механики* (Н.Д. Моисеев, Г.Н. Дубошин), *морской гравиметрии* (Л.В. Сорокин).

Сразу после образования ГАИШ его директором был назначен **А.А. Канчеев**, математик по образованию. Штат Института тогда составлял 50 человек. В 1936 г. ГАИШ возглавил **В.Г. Фесенков**, а в 1939 – **Н.Д. Моисеев**. Главные направления исследований ГАИШ того времени – космогония, небесная механика, изучение Галактики, исследование комет и метеоров, определение положений звезд, изучение Солнца, Служба времени, изучение фигуры Земли.

В 1930-е гг. большое развитие в ГАИШ получили звездная фотометрия и изучение переменных звезд, исследования кометных форм и первые в СССР (вторые в мире) измерения силы тяжести на море. В ГАИШ родилась концепция всестороннего изучения переменных звезд как средства исследования строения Галактики. В 1937 г. вышел в свет первый том монографии "Переменные звезды", написанный П.П. Паренаго и Б.В. Кукаркиным.

В 1920-е гг. была усовершенствована работа Службы времени, что позволило 1 сентября 1931 г. начать подачу сигналов точного времени через широковещательные радиостанции Москвы.

Из астрометрических работ большую известность приобрели исследования М.С. Зверева по созданию Каталога слабых звезд, работы А.Я. Орлова по изучению движения полюсов Земли и уже упомянутая Служба времени. В области небесной механики важные результаты были получены Н.Д. Моисеевым, Г.Н. Дубошиным, Б.М. Щиголевым. Качественно новое развитие получили после образования ГАИШ астрофизические исследования. Е.Я. Бугославская провела подробное изучение структуры солнечной короны, используя беспрецедентные по масштабам материалы наблюдений в гигантской полосе солнечного затмения 1936 г., определила

вращение короны как целого вместе с Солнцем. В 1938 г. в ГАИШ начал работать И.С. Шкловский, который развивал теорию горячей солнечной короны. Большую научную и педагогическую работу вел К.А. Куликов. Благодаря привлечению лучших студентов к научной работе возникли новые направления исследований.

Создание ГАИШ и быстрый рост его научного потенциала привели к значительному прогрессу в подготовке астрономических кадров в Московском университете. В 1936 г. была организована кафедра *звездной астрономии*, заведующим которой стал П.П. Паренаго, в 1938 г. – *кафедра небесной механики* (заведующий Н.Д. Моисеев), а также кафедра *астрофизики* (заведующий В.Г. Фесенков). В 1939 г. образована кафедра *гравиметрии* (заведующий Л.В. Сорокин), а в 1940 г. – кафедра *кометной астрономии* (заведующий С.В. Орлов). Кафедра астрономии (прежде единственная астрономическая кафедра в Московском университете) была преобразована в кафедру *астрометрии* (заведующий С.Н. Блажко). Эти шесть кафедр составили астрономическое отделение механико-математического факультета МГУ.

ГАИШ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

В самом начале войны многие сотрудники, аспиранты и студенты были призваны в Красную Армию, некоторые научные сотрудники вступили в Московское ополчение. На фронт ушли П.П. Паренаго, Б.В. Кукаркин, Ю.Н. Липский, Я.П. Горелов и многие другие. Институт понес значительные потери: Н.Ф. Флоря и В.В. Хмелев погибли осенью 1941 г., студентка Е.М. Руднева героически погибла в апреле 1944 г. под Керчью, совершая свой 645-й боевой вылет. Ей посмертно присвоено звание Героя Советского Союза. Погибли в боях В.А. Верменко, О.Г. Затейщиков, Е.А. Субботин, А.Г. Пирог, П.В. Соколов, Б.С. Горский.

В самом начале войны Институт пересмотрел свою научную тематику, оставив лишь темы, имеющие оборонное и народнохозяйственное значение. Служба времени – важнейшая из них. 6 октября 1941 г. началась эвакуация сотрудников ГАИШ в Свердловск, куда переправили основное оборудование Службы времени, которой руководил М.С. Зверев (Земля и Вселенная, 2003, № 5). Уже 7 ноября из Свердловска началась подача сигналов точного времени. Оставшиеся в Москве сотрудники ни на один день не прекращали передачу сигналов точного времени, даже в те дни, когда враг стоял на подступах к Москве. За эту самоотверженную деятельность сотрудники ГАИШ М.А. Смирнова и А.С. Миролюбова были награждены орденом Ленина. Помимо Службы времени в Свердловске ГАИШ совместно с сотрудниками Киевского университета создал Службу Солнца, которой руководил Э.Р. Мустель. В ее задачи входило прогнозирование "радиопогоды" для нужд армейской разведки. Несмотря на военное время, в Институте выполнялись теоретические работы. С.В. Орлов построил новую классификацию кометных форм и теорию головы кометы. Эти работы в дальнейшем удостоились Государственной премии СССР. Э.Р. Мустель и А.Б. Северный вели исследования в области теоретической астрофизики. Н.Д. Моисеев и Н.Ф. Рейн продолжали исследования в области небесной механики и космогонии.

ПОСЛЕВОЕННЫЕ ГОДЫ

Война окончилась, и многие гаишане-фронтовики вернулись в Институт: Ю.Н. Липский, Г.Ф. Ситник, М.П. Косачевский, Я.П. Горелов, А.А. Орлов, П.П. Паренаго, Б.В. Кукаркин, Г.П. Пильник. Вскоре несколько крупных ученых покинули ГАИШ, многие из них заняли ведущее положение в институтах и обсерваториях Академии наук СССР. А.Б. Северный в 1952 г. стал директором КРАО. В 1947 г. в Пулково переехал А.А. Михайлов, назначенный директором Главной астрономической обсерватории (ГАО АН СССР), а в 1951 г. – М.С. Зверев, ставший заместителем директора ГАО. Э.Р. Мустель в 1950 г. перешел на работу в КРАО (в 1963 г. стал председате-

лем Астросовета АН СССР в Москве), а А.Г. Масевич в 1952 г. заняла должность заместителя председателя Астросовета (Земля и Вселенная, 2006, № 5). Работа в Институте физики Земли АН СССР привлекла М.С. Молоденского, Б.Ю. Левина и Н.Н. Парийского. В конце 1960-х гг. большая группа сотрудников ГАИШ во главе с И.С. Шкловским (Земля и Вселенная, № 4, 2006 г.) перешла в ИКИ АН СССР. Таким образом, ГАИШ стал "кузницей" ведущих астрономических кадров в стране.

С другой стороны, в послевоенные годы ГАИШ пополнили новые кадры. В 1950–1956 гг. численность сотрудников Института возросла более чем в два раза (до 125 человек).

С 1953 г. по 1956 г. директором ГАИШ был **Б.В. Кукаркин**. В 1954 г. ректор МГУ И.Г. Петровский пригласил в ГАИШ директора астрономической обсерватории Казанского университета **Д.Я. Мартынова** (Земля и Вселенная, 2006, № 2), который в 1956 г. возглавил ГАИШ. В этот период произошли серьезные изменения в структуре Астрономического отделения МГУ: остались четыре кафедры – *астрофизики, звездной астрономии, астрометрии, небесной механики и гравиметрии*.

Одна из ведущих научных тем ГАИШ в первые послевоенные годы – исследование переменных звезд, начало которому еще в 1894 г. положил В.К. Цераский. С 1895 г. в Институте проводилось систематическое фотографирование площадок неба, благодаря чему сформировалась "стеклянная библиотека" – ныне одна из наиболее богатых астрономических фотобиблиотек в мире, насчитывающая около 100 тыс. негативов, многократно перекрывающих все Северное небо. Исполком Международного астрономического союза (МАС) в 1946 г. поручил сотрудникам ГАИШ вести сбор наблюдательной информации, разработку классификации, номенклатуры переменных звезд и выпуск "Общего Каталога переменных звезд". К настоящему времени вышло четыре его издания, он размещен и в Интернете. В 1949 г. и 1950 г. за исследования в области звездной астрономии П.П. Паренаго и Б.В. Кукаркину присуждены премии им. Ф.А. Бредихина АН СССР. В последующие десятилетия под руководством Д.Я. Мартынова и И.Н. Глушневой выполнена крупномасштабная работа по созданию спектрофотометрического каталога ярких звезд, имеющего как фундаментальное, так и прикладное значение. Кроме того, был создан многоцветный фотометрический каталог 14 тыс. звезд (до 7.2^m) Северного неба (руководители Х.Ф. Халиуллин и В.Г. Корнилов).

Высокую оценку получила научная и педагогическая деятельность ряда сотрудников Института. Например, в 1947 г. Б.А. Воронцова-Вельяминова (Земля и Вселенная, 2004, № 4), автора ряда университетских курсов и классического школьного учебника по астрономии, избрали членом-корреспондентом АН педагогических наук РСФСР. В 1951 г. Л.В. Сорокину присуждена Государственная премия СССР за разработку и создание гравиметрической аппаратуры. В 1952 г. Государственной премии СССР были удостоены С.Н. Блажко – за учебники "Курс сферической астрономии" и "Курс практической астрономии", Э.Р. Мустель и А.Б. Северный – за исследования хромосферных вспышек на Солнце.

Таким образом, после войны ГАИШ превратился в один из ведущих мировых научно-образовательных центров по астрономии. Свидетельством этого стало проведение в Московском университете в 1958 г. Юбилейной X Генеральной ассамблеи МАС.

ГАИШ И НАЧАЛО КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ

Осенью 1954 г. ГАИШ переехал в новое здание на Ленинских горах, где были установлены новые астрономические инструменты, в том числе 70-см рефлектор АЗТ-2.

Начало космической эры стимулировало дальнейшее развитие научно-образовательной деятельности и наблюдательной базы ГАИШ.

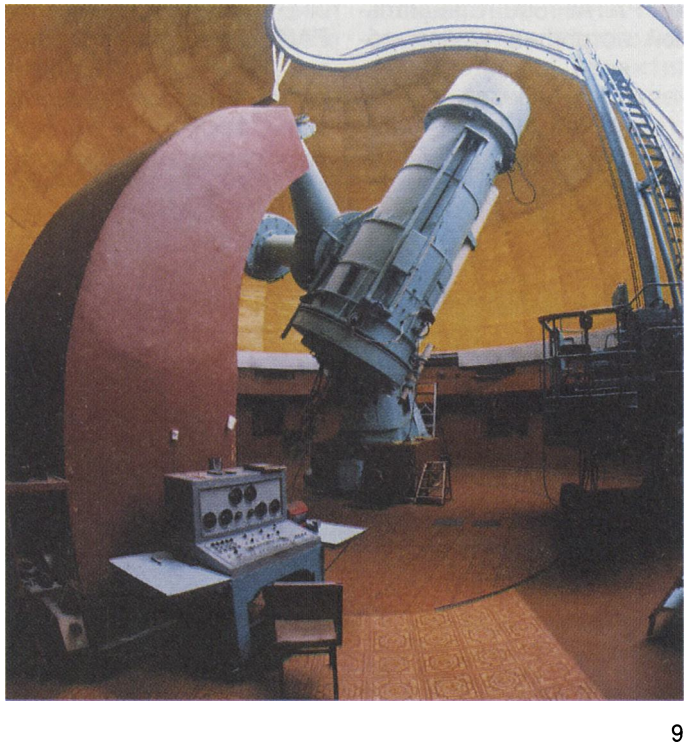
Еше в 1953 г. по инициативе И.С. Шкловского в ГАИШ был организован

Главное здание Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга (1950-е гг.). Справа – главное здание МГУ.

Отдел радиоастрономии. Он заложил основы радиоспектроскопии Галактики, предсказал наличие у нее сферической составляющей радиоизлучения, внес большой вклад в обоснование и применение теории синхротронного излучения, в частности для оценки энергии остатков сверхновых.

В 1950–1960-х гг. в ГАИШ сформировались школы *космической магнитной гидродинамики* (С.Б. Пикельнер), *релятивистской астрофизики* (Я.Б. Зельдович). Ввиду все большего проникновения в астрономию физических методов исследования, Астрономическое отделение МГУ в 1956 г. было переведено с механико-математического факультета на физический.

В конце 1950-х гг. под руководством директора ГАИШ Д.Я. Мартынова началось строительство южных и высокогорных наблюдательных станций Института. В 1957 г. для проведения работ по Международному геофизическому году образована постоянно действующая высокогорная экспедиция вблизи Алма-Аты. В 1994 г., в связи с распадом СССР, обсерватория была национализирована правительством Казахстана. В 1958 г. заработала Крымская лаборатория ГАИШ, главным инициатором ее создания был Б.А. Ворон-



125-см рефлектор ЗТЭ Крымской лаборатории ГАИШ.

Профессор Д.Я. Мартынов (справа), возглавлявший ГАИШ с 1956 г. по 1976 г., и космонавт В.В. Быковский. Фото 1976 г.

цов-Вельяминов. Благодаря усилиям Д.Я. Мартынова, в ней установили 125-см рефлектор ЗТЭ и другие инструменты. Ныне обсерватория является собственностью России. В 1974 г. ГАИШ создал лабораторию на радиотелескопе РАТАН-600 Специальной астрофизической обсерватории (САО) АН СССР, а в 1975 г. Среднеазиатскую обсерваторию ГАИШ на горе Майданак в Узбекистане с 1.5-м рефлектором. К сожалению, в 1993 г. и эта обсерватория была потеряна для ГАИШ.

В 1950–1960 гг. ученые ГАИШ, работая в тесном контакте с академиками **С.П. Королёвым** и **В.П. Глушко**, внесли существенный вклад в космические исследования. И.С. Шкловский разработал метод "искусственной кометы", позволивший наблюдать космические аппараты и определять их координаты на больших расстояниях от Земли. В 1960 г. за эти работы он был удостоен Ленинской премии. В 1960–1961 гг. под руководством Ю.Н. Липского сотрудники ГАИШ и ЦНИИГАиК создали первые в мире полную карту и полный глобус Луны. В 1971 г. Е.П. Аксенов, Е.А. Гребеников, В.Г. Демин и Г.Н. Дубошин стали лауреатами Государственной премии СССР за разработку новых методов расчета траекторий движения ИСЗ (**Е.П. Аксенов** с 1976 г. по 1986 г. был директором ГАИШ). В 1972 г. Ю.Н. Липский и В.В. Шевченко подготовили и в процессе работы автоматического самоходного аппарата "Луноход-2"

Лауреаты Государственной премии СССР 1971 г. за разработку методов расчета траекторий ИСЗ. Слева направо: Е.П. Аксенов, В.Г. Демин, Е.А. Гребеников, Г.Н. Дубошин.

провели фотометрические измерения непосредственно на лунной поверхности.

В 1960–1980 гг. В.П. Григорьева, В.Ф. Есипов, В.Г. Курт, Е.К. Шефер и другие сотрудники ГАИШ участвовали в разработке и создании аппаратуры для ИСЗ и АМС, а также в бортовых исследованиях космического пространства и планет Солнечной системы (всего использовалось около 30 космических аппаратов). В 1968 г. В.Г. Курту была присуждена Ломоносовская премия МГУ за исследования ультрафиолетового излучения с борта АМС "Венера-4", а в 1984 г. он получил Государственную премию СССР за работы, выполненные с борта орбитальной обсерватории "Астрон". В 1985 г. В.И. Мороз за космические исследования был удостоен Государственной премии СССР.

В связи с развитием космонавтики активизировались работы по поиску внеземных цивилизаций (SETI). Наиболее активными энтузиастами этих поисков стали И.С. Шкловский, Н.С. Кардашёв, Л.М. Гиндилис.

В 1962 г. в ГАИШ начал работать Объединенный Астрофизический семинар (ОАС) под руководством В.Л. Гинзбурга, Я.Б. Зельдовича и И.С. Шкловского. На этом семинаре представлялись выдающиеся работы советских и зарубежных ученых, обсуждались все новейшие открытия в астрономии.

ГАИШ В "ЗОЛОТУЮ ЭРУ" АСТРОНОМИИ

Сотрудники ГАИШ в 1960–1980 гг. наряду с активным участием в космических исследованиях получили фундаментальные результаты в традиционных и новейших областях астрономии. Эти годы принято называть "золотой эрой" астрономии, поскольку тогда астрономия стала всеволновой и были сделаны выдающиеся открытия: обнаружили квазары, реликтовое трехградусное излучение, пульсары, аккрецирующие нейтронные звезды, черные дыры, космические мазеры и другие объекты.

ГАИШ активно включился в эти исследования и достиг важнейших результатов.

В 1963 г. Б.А. Воронцову-Вельяминову присуждена премия им. Ф.А. Бредихина АН СССР за цикл работ по исследованию открытых им в 1959 г. взаимодействующих галактик. В 1963 г. Ю.Н. Ефремов и А.С. Шаров обнаружили оптическую переменность квазара 3С273, П.Н. Холопов и Н.М. Артюхина открыли обширные короны у звездных скоплений.

В 1960–1970 гг. С.Б. Пикельнер выдвинул идею изучения физики межзвездной среды и солнечной атмосферы на базе магнитной гидродинамики, разработал теорию солнечных всплесков II типа. В этом же году Э.А. Дибай, В.Ф. Есипов и М.А. Аракелян впервые в СССР начали регулярные наблюдения спектров активных галактических ядер и измерения лучевых скоростей квазаров. В 1970-е гг. В.Ф. Есипов, В.М. Лютый и А.С. Шаров составили каталог фотометрических измерений более 400 шаровых скоплений.

В 1966 г. в Государственный реестр открытий СССР под № 47 было внесено открытие Н.С. Кардашёва "Радиолинии возбужденного водорода". Годом ранее Г.Б. Шоломицкий обнаружил радиопеременность квазара СТА-102, что дало начало систематическим исследованиям переменности внегалактических радиоисточников. В 1968 г. Ю.П. Псковскому удалось отождествить в спектрах сверхновых звезд ряд линий, не поддававшихся идентификации в течение 80 лет. Он также предложил сверхновые типа Ia использовать как "стандартные свечи" для определения расстояний до далеких галактик. Результаты, полученные Г.Б. Шоломицким и Ю.П. Псковским, в 1990 г. также были внесены в Государственный реестр открытий (№ 391, 392).

В 1960–1970 гг. Я.Б. Зельдович предложил и развил метод обнаружения коллапсировавших звезд по рентгеновскому излучению, возникающему при несферической аккреции вещества. Он также разработал теорию образования галактик в расширяющейся Вселенной.

Ученик Я.Б. Зельдовича Н.И. Шакура предложил модель дисковой аккре-

ции вещества на нейтронную звезду или черную дыру. Работа Н.И. Шакуры и Р.А. Сюняева по теории дисковой аккреции вещества на релятивистский объект – ныне самая цитируемая в научной литературе. Мировую известность получили пионерские работы Ю.Н. Ефремова по выделению звездных комплексов, Д.Я. Мартынова – по физике тесных двойных звездных систем, М.У. Сагитова – по измерению постоянной тяготения, Н.П. Грушинского, В.Л. Пантелеева и П.А. Строева – по определению силы тяжести в Мировом океане и Антарктиде. В 1970–1980-е гг. Е.П. Аксенов и его ученики создали новую аналитическую теорию движения ИСЗ. В начале 70-х гг. наступила эра рентгеновской астрономии. Сотрудники ГАИШ Н.Е. Курочкин, Ю.Н. Ефремов, В.М. Лютый, Н.И. Шакура, А.М. Черепащук выполнили первые в мире оптические отождествления рентгеновских двойных систем и провели изучение их оптических проявлений (Земля и Вселенная, 1992, № 2). Эти исследования заложили основы современных методов определения масс нейтронных звезд и черных дыр (Земля и Вселенная, 2005, № 4).

Традиционно большое внимание в ГАИШ уделяется историко-астрономическим исследованиям. В 1950–1960 гг. П.Г. Куликовский организовал в ГАИШ кабинет истории астрономии.

ГАИШ В НАШИ ДНИ

В настоящее время ГАИШ – уникальный научно-образовательный центр, где эффективная научная работа сочетается с подготовкой астрономических кадров высокой квалификации.

Среди ученых, в разное время работавших в ГАИШ, авторы фундаментальных открытий, лауреаты высших государственных и научных премий, создатели научных школ, академики и члены-корреспонденты, заслуженные деятели науки и почетные профессора. Сформировавшиеся в ГАИШ научные школы по физике тесных двойных систем и по изучению строения, кинематики и динамики нашей Галактики и галактик Местной группы вошли в число ведущих научных школ Российской Федерации, получивших государственную поддержку. Сотрудники ГАИШ активно участвуют в международных научно-исследовательских программах, связанных также с космическими экспериментами. Институт издает "Труды ГАИШ" и "Сообщения ГАИШ".

За время существования ГАИШ его сотрудниками опубликовано около 12 тыс. научных статей, свыше 300 учебников, учебных пособий, различных монографий, каталогов, атласов и других научных изданий, получено около 50 авторских свидетельств на изобретения и три – на открытия фундаментального значения. На Астрономическом отделении МГУ подготовлено в общей сложности примерно 3 тыс. специалистов-астрономов. Сейчас в ГАИШ около 200 научных сотрудников, из них 35 докторов и 120 кандидатов наук. Среди сотрудников Института есть лауреаты международных наград, 54 сотрудника – члены МАС, 39 – члены Европейского астрономического общества.

Астрономическое отделение включает кафедру астрофизики и звездной астрономии (заведующий – академик А.М. Черепащук), кафедру небесной механики, астрометрии и гравиметрии (профессор В.Л. Пантелеев) и кафедру экспериментальной астрономии (академик А.А. Боярчук). Ежегодно Астрономическое отделение МГУ готовит около 20 астрономов.

Перечислим несколько важнейших научных достижений Института за последние годы.

* Обнаружено, что подавляющее большинство молодых звездных скоплений, ассоциаций и индивидуальных звезд сосредоточено в гигантских системах – звездных комплексах. Такие комплексы были открыты и изучены в нашей Галактике и в ближайших галактиках. Доказано, что они распространены во всех спиральных и неправильных галактиках. За эти работы Ю.Н. Ефремов, А.В. Засов, А.Д. Чернин в 1996 г. получили Ломоносовскую премию МГУ.

* В.В. Нестеров, А.В. Кузьмин, В.К. Куимов создали Астрографический ката-

Лауреаты Ломоносовской премии МГУ 2003 г. Слева направо: В.М. Липунов, Н.И. Шакура, К.А. Постнов. На втором плане – М.И. Прохоров, лауреат Шуваловской премии МГУ 2000 г.

лог положений звезд на основе Карты неба (Земля и Вселенная, 2003, №№ 5, 6) и результатов космического эксперимента HIPPARCOS–TYCHO. Они с высокой точностью определили положения и собственные движения 4.6 млн. звезд (Ломоносовская премия МГУ, 1999 г.) и создали опорный каталог Тихо.

* Построена теоретическая гравитационно-волновая Карта Неба и развита "Машина сценариев" – комплекс программ, позволяющих моделировать эволюцию различных объектов Галактики. С помощью прямого эволюционного моделирования исследованы различные классы объектов Галактики – старые нейтронные звезды, а также двойные системы, в которых образуются нейтронные звезды и черные дыры. Дано корректное предсказание частоты слияния (одно событие за 10^4 лет) нейтронных звезд в двойных системах нашей Галактики (Н.И. Шакура, В.М. Липунов, К.А. Постнов – Ломоносовская премия МГУ, 2003 г., М.Е. Прохоров – Шуваловская премия МГУ, 2000 г.).

* Проведен многолетний цикл работ по исследованию тесных двойных систем звезд на поздних стадиях эволюции: звезд Вольфа – Райе в двойных системах, рентгеновских двойных систем с нейтронными звездами и черными дырами (Земля и Вселенная, 1993, № 2; 1994, № 2), в том числе уникальной двойной системы SS433 (Земля и Вселенная, 1986, № 1) с релятивистскими коллимированными прецессирующими джетами (А.М. Черепащук – премия Ленинского Комсомола, 1974 г.; премия им. А.А. Белопольского РАН, 2002 г., с 1986 г. – директор ГАИШ).

* Построена новая высокоточная теория нутации и прецессии неупругой Земли (Земля и Вселенная, 2004, № 4). Теория учитывает течения в жидком вязком ядре, дифференциальное вращение твердого внутреннего ядра, сцепление жидкого ядра и мантии, неэластичность мантии, тепловой обмен внутри Земли, движения в океанах и атмосфере (В.Е. Жаров – премия Евросоюза им. Рене Декарта, 2003).

* На основании многолетних интерферометрических наблюдений, проведенных на 6-м телескопе САО РАН, измерены и проанализированы поля скоростей газа в дисках спиральных галактик (Земля и Вселенная, 2005, № 1). Обнаружены предсказанные ранее А.М. Фридманом крупномасштабные антициклонические течения газа в дисках (Земля и Вселенная, 2006, № 5). Их существование доказывает волновую природу спиралей (А.В. Засов, О.К. Сильченко – Государственная премия РФ, 2004 г.).

* В.В. Шевченко разработал модель падения на лунную поверхность распавшихся кометных ядер и показал, что диффузные структуры на лунной поверхности могут быть следами последнего кометного ливня, прошедшего около 10 млн. лет тому назад.

* В ГАИШ создан роботизированный мобильный телескоп "МАСТЕР" для наблюдений оптических

Центральная область галактики NGC 7742. О.К. Сильченко и ее коллеги из САО РАН обнаружили в этой галактике ядерное пылевое кольцо звездообразования, которое вращается навстречу ее основному диску. Ученые предполагают, что такое направление вращения полярное кольцо приобрело в результате падения на NGC 7742 другой, менее крупной галактики. Фото KTX.

послесвечений космических гамма-всплесков и других быстропеременных объектов, построены кривые блеска послесвечений, организовано постоянное слежение за гамма-всплесками (В.М. Липунов, В.Г. Корнилов).

Современные открытия в астрономии поражают воображение: обнаружены темная материя и темная энергия, фактически открыты черные дыры, все конкретнее ставится вопрос о поисках внеземной жизни в Солнечной системе и на планетах вокруг многих звезд Галактики. По-видимому, наступает вторая "золотая эра" в астрономии. В этом важнейшую роль играет ГАИШ МГУ как уникальный научно-образовательный центр. Институт успешно справляется со сложной задачей подготовки научных кадров, владеющих всеми достижениями современной астрономии и новейшими технологиями. Однако для подготовки специалистов-астрономов на высоком уровне необходимо создать университетскую высокогорную обсерваторию с телескопом среднего размера, но снабженным всеми высокотехнологичными средствами наблюдений (новейшие приемники излучения, полная автоматизация, адаптивная оптика и т.п.).

Правительство РФ выделило средства на закупку современного телескопа с зеркалом диаметром 2.5 м. Его планируется установить в горах на российской территории. Высокогорный научно-образовательный центр с телескопом такого класса позволит готовить специалистов, которые смогут работать на самых крупных современных обсерваториях и обсерваториях будущего. С новой обсерваторией ГАИШ связывает и перспективы своего дальнейшего развития.

Новый статус Плутона?

Даже любознательные младшие школьники знают, что в Солнечной системе 9 планет, из которых Плутон – самая далекая и самая маленькая. Но теперь и детям, и взрослым придется усвоить, что в Солнечной системе лишь 8 планет – планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). Так было решено в августе 2006 г. на XXVI Генеральной ассамблее Международного астрономического союза, проходившей в Праге. В работе этого форума участвовало около 2500 астрономов из 75 стран. Они приняли свое историческое решение **24 августа 2006 г.** в результате бурной дискуссии и поистине демократического голосования.

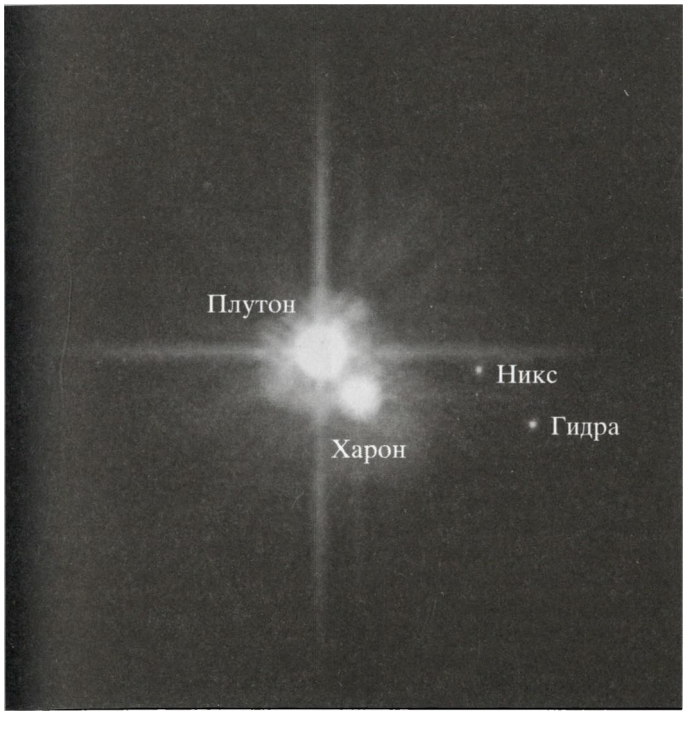
Для астрономической общественности такое решение не стало неожиданным, так как уже было известно, что Плутон ничем особенным не отличается от открытых в последние годы крупных астероидов (планетоидов) в поясе Койпера (см., например, Земля и Вселенная, 2002, № 2, с. 16; 2005, № 5, с. 14, № 6, с. 48).

Астрономам предстояло либо признать, что в Солнечной системе не 9 планет, а 12 или еще больше, либо "разжаловать" Плутон, объявив его одной из *карликовых планет*. В результате дискуссий статус Плутона понизили: теперь это не большая, а лишь карликовая планета, то есть фактически один из самых крупных астероидов, движущийся вокруг Солнца за пределами орбиты Нептуна.

Между тем Плутон, пожалуй, вписывается в рамки определения самого понятия "планета". Это определение стало результатом деятельности комиссии МАС, собравшейся в Париже летом 2006 г. Предварительная редакция вскоре появилась в Интернете на сайте МАС, где сказано:

"Планетой называется тело, вращающееся вокруг звезды, которое при этом не является звездой или спутником другой планеты, имеет достаточную массу, чтобы за счет сил гравитации принимать гидравлически равновесную (то есть близкую к сферической) форму". Не только Плутон, но и Церера, а также некоторые крупные транснептуновые объекты (например, 2003UB313), по-видимому, отвечают такому определению "планеты", хотя в число больших планет Солнечной системы не вошли.

Со времени открытия Плутона прошло 76 лет. Первоначально Плутон быстро получил статус девятой планеты (этому способствовали и всем известные сейчас особенности орбиты Плутона, и сильно преувеличенные данные о размерах нового объекта: думали, что Плутон почти в несколько раз больше Земли...). Но потом выяснилось, что

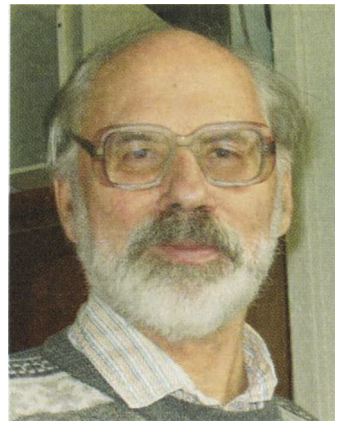


Плутон и его спутники Харон, Никс и Гидра. Снимок получен КТХ 15 февраля 2006 г., NASA.

(Окончание на стр. 38)

Московская школа звездной астрономии: история и современность

Ю. Н. ЕФРЕМОВ,
доктор физико-математических наук
А. С. РАСТОРГУЕВ,
доктор физико-математических наук



Звездная астрономия изучает строение, кинематику, динамику и эволюцию нашей Галактики. Наше Солнце расположено вблизи плоскости симметрии Галактического диска, и далекие звезды сливаются в сиянии Млечного Пути. В 20-х гг. XX в. было доказано, что наша Галактика – изолированная звездная система. Ее исследования важны и для понимания происхождения других галактик и космологии. Непротиворечивая теория образования галактик еще не построена. Она, как и космология, неразрывно связана с развитием теоретической физики. В последние годы, когда стало ясно, что наблюдениям доступно лишь около 4% вещества Вселенной, а остальную часть составляют ненаблюдаемые "темная энергия" и "темная материя" (Земля и Вселенная, 2006, № 1), необходимость создания теории резко обострилась. Изучение нашего звездного острова важно также для понимания происхождения Солнечной системы и планеты, на которой мы живем. Этим занимается Отдел изучения Галактики и переменных звезд ГАИШ.

© Ефремов Ю.Н., Расторгуев А.С.

Спиральная галактика M109 (NGC 3992). Изображение преобразовано к виду с полюса. Если мы посмотрим на нашу Галактику с полюса, то она будет похожа на M109. Фото из книги Ю.Н. Ефремова "Млечный Путь" (2006 г.).

ПЕРВЫЕ "ЗВЕЗДНИКИ"

Основателем Московской школы звездной астрономии был **Павел Петрович Паренаго** (1906–1960), который в 1940 г. создал на мехмате МГУ кафедру звездной астрономии. Еще в 1938 г. он написал первый в мире учебник по этому предмету – "Курс звездной астрономии" (переработанный и переизданный в 1946 г. и 1954 г.).

В 1934 г. П.П. Паренаго (Земля и Вселенная, 2006, № 3) первым в нашей стране начал читать лекции по курсу звездной астрономии – до той поры были лишь эпизодические лекции по отдельным ее проблемам. Звездная астрономия в то время обычно сводилась к звездной статистике, но П.П. Паренаго рассматривал ее как раздел астрономии, равнозначный астрометрии, астрофизике и небесной механике, главная задача которого – изучение строения и развития звездных систем.

П.П. Паренаго, создавший в 1940 г. кафедру звездной астрономии в МГУ.

С 1932 г. Павел Петрович Паренаго исследовал строение и кинематику Галактики, опираясь, прежде всего, на данные о переменных звездах. В 1935 г. он начал сбор информации обо всех доступных характеристиках индивидуальных звезд – параллаксах, собственных движениях, лучевых скоростях, спектральных классах, показателях цвета. Эти параметры были собраны в огромном карточном каталоге.

Важным результатом анализа данных этого каталога было исследование структуры и кинематических свойств диаграммы Герцшпрунга–Рессела (Г–Р), которым П.П. Паренаго занимался до конца жизни. Можно отметить два важнейших достижения: изучена последовательность субкарликов и обнаружен систематический рост пекулярных скоростей (отклонения от круговых скоростей) звезд-карликов. Этот рост прекращается у звезд спектрального класса F (Parenago's discontinuity). Субкарлики, как мы давно уже знаем, – звезды гало Галактики (населения II) и толстого диска. Они смещены на диаграмме Г–Р от главной последовательности (ГП) не вниз (из-за меньшей массы, как считали П.П. Паренаго и другие), а влево. Из-за слабости линий металлов в спектре они голубее, чем звезды населения I (диска Галактики) с более высоким содержанием химических элементов тяже-

лее гелия. Постоянство дисперсии скоростей субкарликов, начиная со спектрального класса F, объясняется тем, что средний возраст этих звезд практически одинаков и равен примерно половине возраста галактического диска, то есть 5 млрд. лет.

Исследования кинематики и пространственного распределения звезд, особенно переменных, позволили П.П. Паренаго со своим сподвижником, Б.В. Кукаркиным, также стоявшим у истоков Московской школы, существенно развить представления о звездных населениях, о связи физических и пространственно-кинематических характеристик звезд.

В 1940 г. П.П. Паренаго и Б.В. Кукаркин начали составлять картотеку, в которой отражались результаты исследований переменных звезд. Эта работа, прерванная войной, была закончена в 1946 г. Картотека охватывала все известные тогда переменные звезды, что дало возможность Б.В. Кукаркину и П.П. Паренаго на первом послевоенном заседании Исполкома МАС выступить с предложением перевести в Москву работу по систематизации и каталогизации сведений о переменных звездах, которая ранее выполнялась в Германии. Предложение было принято, и в 1948 г. в Москве вышло первое издание Общего каталога переменных звезд.

В 1951 г. опубликован "Каталог звезд, заподозренных в переменности блеска". Составлять его Б.В. Кукаркину и П.П. Паренаго помогали Ю.И. Ефремов и П.Н. Холопов. Среди работ Паренаго этот каталог делит сейчас первое и второе место (по числу ссылок) с его грандиозной работой по изучению звезд в Туманности Ориона – толстенным 25-м томом Трудов ГАИШ, вышедшим в 1954 г. Это ближайшая к нам на Северном небе область образования массивных звезд. Каталог Паренаго, содержащий исчерпывающие для своего времени данные о находящихся в ней 3 тыс. звезд, активно используется и поныне.

Исследуя данную область, П.П. Паренаго первым обнаружил характерную особенность диаграммы Г–Р для скоплений, в которых еще продолжается звездообразование, – на ГП находятся лишь наиболее яркие звезды. В молодом скоплении в Туманности Ориона на ней лежат горячие звезды, не позднее спектральных классов A1–A2, а более холодные разбросаны справа. Интерпретацию диаграмме дали М. Уокер и другие американские астрономы, которые поняли, что наименее массивные звезды находятся еще на стадии гравитационного сжатия и подходят к главной последовательности со стороны низких температур.

Большую роль сыграло тесное взаимодействие основателей школы звездной астрономии с их первыми учениками и сотрудниками, среди которых необходимо отметить, прежде всего, А.С. Шарова, Е.Д. Павловскую, Ф.А. Цицина, Д.К. Каримову, Г.А. Старикову, Н.Е. Курочкина. Они много лет продолжали работы, начатые П.П. Паренаго.

В 1953 г. П.П. Паренаго был избран членом-корреспондентом АН СССР и в том же году организовал Комиссию по звездной астрономии при Астрономическом совете АН, которую возглавлял до конца жизни. "План Паренаго", состоявший в полном исследовании всех характеристик звезд в нескольких избранных областях Млечного Пути, успешно осуществлялся на Абастуманской обсерватории. Этот план не надо путать с "планом Шайна", наблюдения по которому велись в Симеизе и были нацелены на изучение эмиссионных туманностей и горячих звезд. К сожалению, работы по обоим планам не были завершены.

После П.П. Паренаго кафедру звездной астрономии (позднее звездной астрономии и астрометрии) и "звездные" отделы ГАИШ возглавил профессор **Борис Васильевич Кукаркин** (1909–1977), крупный ученый и талантливый организатор. Он был одним из инициаторов и ведущих авторов выпуска в 1970-е гг. пятитомной монографии "Нестационарные звезды и методы их исследования". Первостепенными для Московской школы звездной астрономии на долгие годы стали исследования звездных скоплений, переменных звезд, строения и кинема-

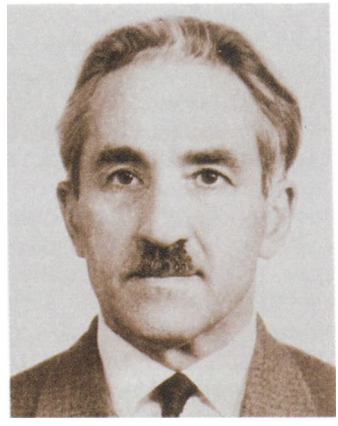
тики нашей Галактики, двойных и кратных звезд, населения галактик Местной группы, кинематики близких галактик и динамики звездных систем.

Пионером фотоэлектрической фотометрии в СССР был доцент **Петр Григорьевич Куликовский** (1909–2003), разработавший принципы и методику фотоэлектрических измерений блеска звезд (Земля и Вселенная, 2004, № 3). Он известен также как автор первой классификации сверхновых по кривым их блеска. Все русско-язычные астрономы знают его "Справочник любителя астрономии", последнее, пятое, издание которого вышло в 2002 г. Блестящий педагог, П.Г. Куликовский до 1986 г. читал курс звездной астрономии. Он – автор учебника "Звездная астрономия", краткой, но поразительно емкой книги.

Главная особенность Московской школы звездной астрономии, которую с самого начала поддерживали ее основатели, – системный подход, когда все характеристики звезд изучаются совместно. Это позволило выделить разные звездные населения Галактики, отличающиеся по возрасту, кинематике и химическому составу, и тем самым заложить фундамент для понимания происхождения и эволюции Галактики.

Вторая особенность – использование данных разных авторов лишь после их сопоставления, выяснения причин различий и "уравнивания".

Б.В. Кукаркин – один из основоположников Московской школы звездной астрономии.



П.Г. Куликовский – любимейший учитель московских звездников.

Третья – учет наблюдательной селекции, связанной, прежде всего, с межзвездным поглощением света.

Еще одна особенность Московской школы звездной астрономии – огромное внимание к переменным звездам. Их легко обнаруживать и исследовать даже с нашими скромными (и раньше, и теперь) наблюдательными средствами. По характеру изменения блеска можно установить физическую природу большинства таких звезд, а также определить расстояние и возраст. Поэтому переменные звезды – самые подходящие объекты для изучения строения и эволюции звездных систем.

Наконец, широко используются данные о пространственных скоростях звезд, для чего с 1935 г. коллекционировались все доступные результаты исследований. Измерения собственных движений и блеска звезд возможны даже с помощью небольших телескопов. Ныне мы занимаемся и определением лучевых скоростей звезд.

ИССЛЕДОВАТЕЛИ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД И ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ

Неординарным и самым скромным сотрудником Б.В. Кукаркина и П.Н. Холопова был *Николай Ефимович Курочкин* (1923–2003), человек, беззаветно преданный науке. Как и большинство из нас, астрономию он любил с детства. С января по август 1941 г. он – технический сотрудник кафедры Звездной астрономии, а в начале войны пошел станочником на завод. С ноября 1941 г. по март 1946 г. его принудительно содержали в Казанской психиатрической тюремной больнице НКВД. Н.Е. Курочкин писал в автобиографии:

"...Ошибки состояли в том, что, во-первых, я слишком настойчиво требовал использования меня на более квалифицированной работе и предоставить мне возможность обучиться квалификации, во-вторых, в неправильной оценке текущего политического момента, в недооценке опасности со стороны врага, в отказе от эвакуации из Москвы вместе с заводом. Последнее я изложил в заявлении на имя начальника цеха, которое весьма опрометчиво и подал вместе с просьбой о переводе на другую работу. Это и привело к аресту по статье 58 пункт 10.2 УК СССР... по решению Особого совещательного отдела я отбывал срок с 26 марта 1943 г. по 23 марта 1946 г. в психиатрической тюремной больнице НКВД, где работал сначала по обслуживанию больницы, а затем в переплетной мастерской. Все это время я продолжал заниматься самообразованием и расширял свои знания за пределы уровня средней школы. Своей добросовестной работой и честным признанием своих ошибок я вновь снискал доверие Советских органов, и по решению Особого совещательного отдела 16.II.1946 г. мое дело было прекращено производством и я освобожден из-под стражи".

В июне 1946 г. Н.Е. Курочкин вернулся в ГАИШ. Позже он закончил мехмат МГУ. Николай Ефимович долгие годы ведал фототекой ГАИШ. Он открыл и изучил сотни новых переменных звезд, был одним из самых активных наблюдателей на Крымской лаборатории ГАИШ, вступившей в строй в 1945 г., где на 40-см астрографе и получали эти пластинки. Отличаясь независимым и оригинальным умом, он обращал внимание на факты, которые не удивляли других. Например, Николай Ефимович заметил слишком частое соседство на небе цефеид с близким периодом, что позднее получило объяснение в концепции звездных комплексов.

Н.Е. Курочкин – один из первых исследователей переменности блеска квазаров и рентгеновских источников. Он обнаружил в 1973 г. равенство оптического и рентгеновского периодов X-1 Геркулеса и переменной звезды HZ Геркулеса и тем доказал, что это один и тот же объект.

Важный вклад внесли московские звездники в изучение звездных скоплений.

П.Н. Холопов и *Н.М. Артюхина* исследовали распределение звезд в рассеянных скоплениях. Они первыми выделили обширные "короны" скоплений, простирающиеся далеко за пределы их видимых радиусов, где плотность звезд лишь ненамного превышает плотность звездного фона. В уникальной монографии П.Н. Холопова "Звездные скопления" (1981) суммированы результаты многолетних комплексных исследований. Под руководством доцента *Е.В. Глушковой* в настоящее время продолжаются фотометрические исследования населения рассеянных скоплений на основе оригинальных данных глубокой ПЗС-фотометрии, выделение членов скоплений, определение их расстояний и возрастов.

Ученицы П.П. Паренаго – *Е.Д. Павловская* и *Д.К. Каримова* – продолжили исследования строения и кинематики Галактики. Используя главным образом собственные движения звезд, они изучали различия во вращении дисковых подсистем Галактики. Е.Д. Павловская впервые определила среднюю светимость переменных звезд типа RR Лиры (период менее 1 сут) $+0.6^m$, полученную методом статистических параллаксов. На эту работу ссылались более 40 лет.

В 1990-е гг. *А.С. Расторгуев, А.К. Дамбис, Е.В. Глушкова* и *А.М. Мельник* выполнили большой цикл исследований кинематики галактических подсистем по данным о пространственных скоростях. Они обнаружили заметные кинематические эффекты, вызванные спиральными волнами плотности, и по кинематике молодых объектов оценили основные параметры спирального узора в окрестности Солнца. Опираясь на статистические методы, они привели серьезные аргументы в пользу "короткой" шкалы расстояний объектов диска и гало, в которой расстояние до центра Галактики составляет 7.5 кпк. Это в настоящее время уверенно

Спиральная галактика Сомбреро (M104), видимая почти с ребра (вверху). Взглянув на нее, можно представить, как выглядит с ребра наша Галактика: M104 похожа на охватывающие все небо изображения Млечного Пути в ИК-диапазоне (в середине) и в видимой области спектра (внизу). Фото из книги Ю.Н. Ефремова "Млечный Путь" (2006 г.).

подтверждается наблюдениями звезд вокруг центральной сверхмассивной черной дыры Галактики. Методом статистических параллаксов А.С. Расторгуев и А.К. Дамбис определили светимость RR-Лирид разной металличности. *Н.Н. Самусь* и *М.С. Фролов* по данным о RR-Лиридах в шаровых скоплениях вывели для них зависимость "период–светимость" в инфракрасном диапазоне.

В 1977 г., после кончины Б.В. Кукаркина, Отдел изучения Галактики и переменных звезд ГАИШ возглавил **Павел Николаевич Холопов** (1922–1988). Под его руководством (а ныне под руководством Н.Н. Самуся) продолжалась каталогизация переменных звезд (электронная версия каталога доступна в Интернете). С 1990-х гг. резко увеличился объем наблюдательных данных по переменным звездам, полученных, в частности, космической обсерваторией "Hipparcos" (Земля и Вселенная, 2003, №№ 5, 6) и из специальных проектов OGLE (Optical Gravitational

П.Н. Холопов, начавший в ГАИШ исследования звездных скоплений.

Lensing Experiment – поиск гравитационных линз), ASAS (The All Sky Automated Survey – автоматический обзор неба) и других. Одна из актуальных и перспективных задач будущих десятилетий – массовое сканирование на профессиональных сканерах астронегативов "стеклянной библиотеки" ГАИШ, насчитывающей около 100 тыс. снимков, накопленных за 115 лет. Предполагается, что в результате сканирования будет открыто множество новых переменных звезд. *С.В. Антипин* уже обнаружил на этих фотопластинках сотни новых переменных. К звездным полям отсканированных пластинок планируется обеспечить прямой доступ в Интернете. Данная задача имеет непосредственное отношение к тематике Российской виртуальной обсерватории, разрабатываемой под эгидой ИНАСАН и ГАИШ.

Начиная с 1987 г. на телескопах Крыма, Узбекистана и Москвы под руководством *А.А. Токовинина*, **А.С. Расторгуева** (заведующий Отделом изучения Галактики и переменных звезд ГАИШ с 2000 г.) и Н.Н. Самуся ведутся массовые высокоточные измерения лучевых скоростей двойных звезд, цефеид и звезд высокой светимости, членов рассеянных и шаровых скоплений. Накопленный огромный объем наблюдательного материала (около 15 тыс. измерений) московские звездники используют во многих исследованиях.

ИЗУЧЕНИЕ ЦЕФЕИД

Около 20 лет назад ГАИШ стал ведущим мировым центром по изучению классических цефеид Галактики, которых к настоящему времени известно более 1000. Еще в 1958 г. П.Н. Холопов первым обосновал принадлежность к рассеянным скоплениям ряда цефеид, а затем *Ю.Н. Ефремов* добавил к ним несколько звезд в коронах скоплений. К концу 1970-х гг. более половины цефеид в скоплениях впервые были исследованы в ГАИШ, и среди них уникальные объекты. Ю.Н. Ефремов и П.Н. Холопов на 70-см рефлекторе в Москве на несколько лет раньше, чем А. Сендидж и Г. Тамман на 5-м Паломарском рефлекторе, провели (к 1965 г.) раздельную фотометрию каждой из близких компонент двойной цефеиды CE Кассиопеи в скоплении NGC 7790. В 1990 г. А.С. Расторгуев и Н.Н. Самусь определили их лучевые скорости. Заметим, что природа колебаний блеска CE Кассиопеи была разгадана также в ГАИШ, *Г.А. Стариковой*, по визуальным наблюдениям еще в 1950-х гг. Уникальная звезда оказалась тесной двойной, и каждая из ее компонент – цефеида.

Л.Н. Бердников собрал самую полную в мире базу данных по фотометрии цефеид, расширив ее собственными многоцветными фотоэлектрическими и ПЗС-наблюдениями, в том числе Южного неба, выполненными на обсерваториях Австралии, Южной Африки и Южной Америки. Он провел более 70 тыс. точных измерений блеска цефеид – около 60% всех таких наблюдений в мире. Продолжая изучать изменения периодов блеска цефеид, начатое П.П. Паренаго, и привлекая старые измерения, проведенные в XIX в., Л.Н. Бердников показал, что изменения периодов пульсаций цефеид – прямое проявление их эволюции.

Фотометрические наблюдения цефеид дополняются многочисленными измерениями лучевых скоростей, выполненными Н.Н. Самусем, *Н.А. Горыня* и А.С. Расторгуевым. По объему данных и точности массив лучевых скоростей примерно 165 цефеид Северного неба не имеет себе равных. Были определены средние скорости этих звезд, открыты новые спектрально-двойные цефеиды, найдены пара-

Спиральная галактика NGC 6946, в которой наблюдалось самое большое число вспышек сверхновых (8 объектов). Изображение получено на 8-м телескопе Gemini (Гавайи).

метры орбит и оценены массы спутников. Показано, что доля спектрально-двойных цефеид достигает, по крайней мере, 22%. Кроме того, А.С. Расторгуев и *М.Е. Сачков* (ИНАСАН) определили пульсационные радиусы большого числа цефеид, а *М.В. Заболотских* применила метод "нейронных сетей" для решения сложной задачи классификации цефеид Галактики по моде пульсаций. Л.Н. Бердников, А.К. Дамбис, *О.В. Возякова* вывели многоцветные зависимости "период–светимость" для цефеид – членов рассеянных скоплений и вместе с А.С. Расторгуевым методом статистических параллаксов уточнили их шкалу расстояний.

ЗА ПРЕДЕЛАМИ ГАЛАКТИКИ

Выдающийся астроном **А.С. Шаров** (1929–1999) – один из первых в нашей стране специалистов по фотоэлектрической фотометрии. Совместно с *В.М. Лютым* и *В.Ф. Есиповым* он в 1970–1990-х гг. провел поиск и фотометрическое исследование шаровых скоплений в близкой спиральной галактике М31; он также показал, что в нашей Галактике должно существовать 200–400 шаровых скоплений. В течение многих лет на 50-см телескопе Крымской лаборатории ГАИШ он проводил систематический поиск Новых звезд в М31 и М33, исследовал их кривые блеска и статистические свойства. Монографии А.С. Шарова "Туманность Андромеды" и "Спиральная галактика Месье 33" подытожили всю информацию о населении этих близких галактик. В 1960-е гг. А.С. Шаров, собрав данные по избыткам цвета звезд, составил знаменитую карту поглощения света в Млечном Пути.

В.П. Архиповой принадлежит ряд оригинальных исследований по физике и морфологии галактик, в особенности пекулярных. Вместе с Б.А. Воронцовым-Вельяминовым она составила широко известный 5-томный Морфологический каталог галактик, содержащий сведения примерно о 30 тыс. галактик Северного неба. Большой вклад в изучение населения и кинематики галактик внесла *О.К. Сильченко*. Она использовала метод популяционного синтеза и проводила наблюдения с мультизрачковым спектрографом прямого фокуса 6-м телескопа БТА. Ей и ее коллегам удалось в последние годы на основе анализа двумерных полей скоростей исследовать кинематику ряда галактик, в том числе оценить скорость вращения спирального узора. Они изучили необычную кинематику и химический состав ядерных областей ряда линзовидных галактик и пришли к выводу, что их характеристики – отдаленные последствия по-

Сотрудники Отдела изучения Галактики и переменных звезд ГАИШ (1997 г.).

глощения этими объектами других галактик (Земля и Вселенная, 2005, № 1).

Профессор **Ю.Н. Ефремов** (заведующий Отделом изучения Галактики и переменных звезд ГАИШ с 1989 г. по 2000 г.), опираясь на полученную им по цефеидам в скоплениях зависимость период–возраст (1964, 1978, 2003), обосновал существование обширных группировок относительно молодых звезд, которые назвал звездными комплексами (см. стр. 2 обложки). Эти комплексы объединяют около 90% звездных ассоциаций и молодых звездных скоплений и соответствуют наибольшему масштабу в иерархическом скучивании молодых звезд. Результаты обобщены в монографии Ю.Н. Ефремова "Очаги звездообразования в галактиках: звездные комплексы и спиральные рукава" (1989). Существование звездных комплексов признано учеными во всем мире. Давно известные "узлы" в спиральных рукавах галактик стали рассматриваться как генетически единые звездные комплексы, а не как случайные агломерации звезд. В последнее время выясняется, что звездные комплексы – места рождения "сверхскоплений", молодых аналогов классических (старых) массивных шаровых скоплений. Комплексы, содержащие такие скопления, изучаются на крупнейших телескопах мира.

Профессор А.Д. Чернин выполнил уникальные исследования динамики малых групп галактик. Проанализировав наблюдательные следствия влияния "темной энергии", он совместно с профессором *И.Д. Караченцевым* (САО РАН) по современным наблюдательным данным о местном "Хаббловском потоке" (Земля и Вселенная, 2006, № 1) оценил основные параметры космологической модели (2005). Особый интерес представляет возможность вычисления оценки плотности энергии космического вакуума по величине "радиуса нулевого ускорения", отделяющего области с преобладанием ньютоновского тяготения от внешних областей, где действу-

ет преимущественно антигравитация вакуума. Предварительные данные показывают хорошее согласие с результатами, полученными из многолетних измерений красного смещения слабейших сверхновых, давших начало новой космологии.

Большой интерес представляют проведенные А.Д. Черниным исследования прямолинейных участков спиральных ветвей, которые он объяснил распрямлением фронта спиральной ударной волны в дифференциально вращающемся диске.

ПЕРСПЕКТИВЫ ЗВЕЗДНОЙ АСТРОНОМИИ

С 1993 г. научные исследования московских астрономов-звездников поддерживаются грантами РФФИ и грантами Президента для ведущих научных школ России. Многие ученые – исследователи звезд – одновременно активные преподаватели высшей школы. Они продолжают традиции, начатые П.П. Паренаго, Б.В. Кукаркиным, Б.А. Воронцовым-Вельяминовым, П.Г. Куликовским. В 1960–1980 гг. прекрасные лекции читали П.Н. Холопов, В.П. Архипова, Е.Б. Костякова, О.Д. Докучаева, Ф.А. Цицин. В настоящее время на астрономическом отделении МГУ им. М.В. Ломоносова преподают профессор А.С. Расторгуев, доктор физико-математических наук Н.Н. Самусь, доценты Е.В. Глушкова и В.Г. Сурдин. Активная педагогическая деятельность ученых способствует притоку молодых сил в астрономию и обеспечивает развитие нашей науки.

Еще в середине 1950-х г. московские звездники (в первую очередь Д.К. Каримова) возглавили работу по созданию крупнейшей наблюдательной базы МГУ – Крымской лаборатории ГАИШ (в настоящее время носящей имя Э.А. Дибая). Эта обсерватория, расположенная в предгорьях Крыма на высоте около 600 м в поселке Научный (неподалеку от Бахчисарая), – до сих пор один из главнейших источников фотометрических и спектральных данных для ГАИШ. Там получено около 25 тыс. фотографий с полем $10° \times 10°$ почти всего Северного неба. Это ценнейшая часть московской коллекции астронегативов. В настоящее время московские звездники все чаще проводят наблюдения на 6-м телескопе БТА САО РАН, в Узбекистане и на зарубежных обсерваториях. Задачи звездной астрономии будут решаться и на Горной обсерватории ГАИШ, строительство которой начинается южнее Кисловодска. Она будет оснащена 2.5-м телескопом и современными светоприемниками.

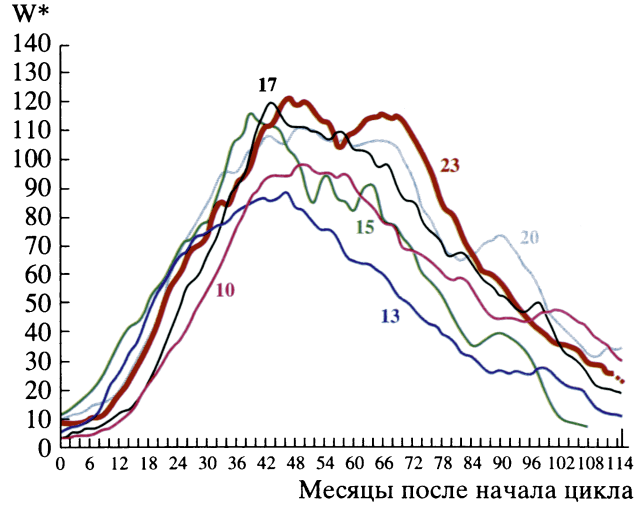
Начало XXI в. ознаменовалось фантастическим ростом объема и качества наблюдательных данных, получаемых на крупнейших наземных и космических телескопах. Успешно закончены или завершаются крупные международные программы создания "всенебесных каталогов", насчитывающих многие сотни миллионов объектов, в том числе очень слабых. Это инфракрасный обзор 2MASS, спектральный и фотометрический каталог SDSS, астрометрические проекты HIPPARCOS, TYCHO-2, UCAC2; глобальный поиск переменных звезд в рамках проектов OGLE и ASAS и другие. Все они представляют для звездной астрономии первоочередной интерес, поскольку основной метод изучения звезд, скоплений и галактик – статистический анализ данных, поиск закономерностей и калибровочных соотношений, используемых для определения физических характеристик объектов. На повестке дня еще более грандиозные проекты, например планируется запуск космической обсерватории ("GAIA"), которая будет проводить многоцветные фотометрические и спектральные наблюдения более 1 млрд. звезд до 20^m с точностью 10 мкс. Новые проекты бросают вызов всему мировому астрономическому сообществу.

Солнце в июне–июле 2006 г.

В этот период солнечная активность соответствовала поздней стадии фазы минимума 23-го солнечного цикла. Точка минимума ожидается в конце 2006 г. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа – $W_{\text{июня}} = 13.9$ и $W_{\text{июля}} = 12.2$. Напомним, что максимум солнечного цикла наступил в апреле 2000 г. ($W^*_{\max} = 121.7$, $F^*_{10\text{ см}} = 181$), второй максимум – в ноябре 2001 г. ($W^* = 115.6$), а максимум потока солнечного радиоизлучения на длине волны 10.7 см ($F^*_{10\text{ см}} = 193.6$) – в феврале 2002 г.

Пятнообразовательная активность Солнца **в июне 2006 г.** снизилась по сравнению с предыдущим месяцем. Значение чисел Вольфа всего одни сутки держалось на среднем уровне. Шесть суток на Солнце совсем не было пятен. В остальные дни на видимом диске постоянно наблюдались одна-две группы небольших пятен. Максимальное число Вольфа (**W = 33**) отмечено **7 и 8 июня**, а минимальное (**W = 0**) – **2, 3, 22, 23** и **24 июня**. Значимых вспышек не было весь месяц, но зафиксировано четыре выброса солнечных волокон. Геомагнитное поле в июне было возмущенным всего четверо суток, а малые магнитные бури отмечены 6, 7 и 15 июня. Все эти магнитные бури – следствие прохождения Землей высокоскоростных потоков от солнечных корональных дыр. В этот же период на геостационарных орбитах 14 суток регистрировались интенсивные потоки высокоэнергичных электронов.

Пятнообразовательная активность Солнца в **июле 2006 г.** еще немного понизилась. Максимальное число Вольфа (**W = 21**) отмечено **1 июля**, а минимальное (**W = 00**) – **13** и **21 июля**. Вспышечная активность достигла среднего уровня 6 июля, когда в активной области Южного полушария Солнца произошла протонная вспышка балла M2.5/2F. Геомагнитного возмущения в околоземном пространстве она не вызвала. 12 и 20 июля наблюдалось два выброса солнечных волокон, причем второй из них был очень мощным. Однако значимого геомагнитного возмущения в околоземном пространстве не за-



Развитие текущего 23-го цикла солнечной активности на протяжении 115 месяцев. Для сравнения приведены аналогичные по высоте максимума циклы (10, 13, 15, 17 и 20). W – сглаженные за 13 месяцев числа Вольфа.*

Солнце 29.06.2006 г.: а) в белом свете (непрерывном спектре); б) в самой сильной водородной линии видимой части спектра H_α (λ = 6563 Å); в, г) в спектральных линиях крайнего ультрафиолетового излучения λ = 171 Å, 284 Å. Фото "SOHO".

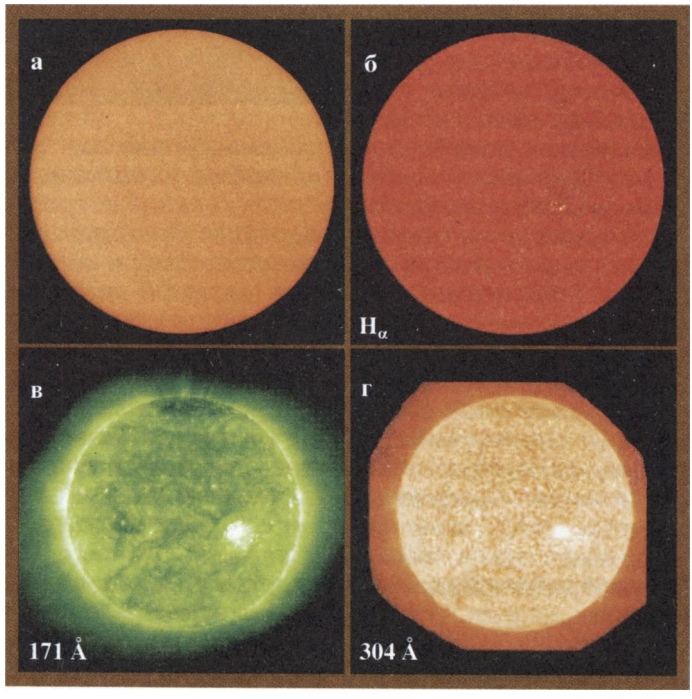
фиксировано. За весь месяц зарегистрировано трое суток с возмущенными геомагнитными условиями. Рекуррентная (повторяющаяся при каждом обороте Солнца) малая магнитная буря, возникшая вследствие прохождения Землей высокоскоростного потока от солнечной корональной дыры, отмечена 4–5 июля. На геостационарных орбитах четверо суток регистрировались потоки высокоэнергичных электронов.

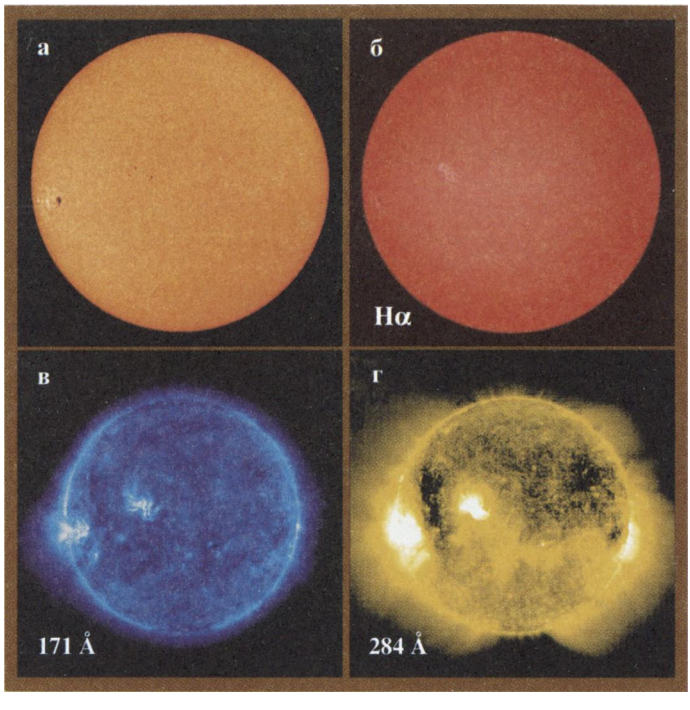
31 июля 2006 г. в Южной полусфере Солнца вблизи западного лимба астрономы наблюдали первое пятно нового, 24-го, цикла солнечной активности (http://spaceweather.com). Оно просуществовало три часа.

Информацию о текущем состоянии солнечной активности и ее прогноз на русском языке можно найти в Интернете по адресу: http://www.izmiran.ru/space/solar/forecast.

Страница обновляется каждый понедельник.

В.Н. ИШКОВ
ИЗМИРАН



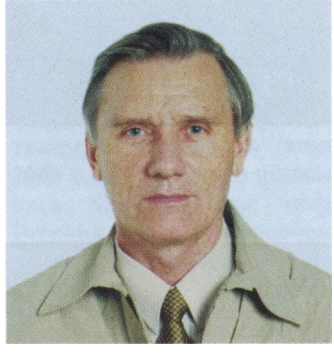


Солнце 19.07.2006 г.: а) в белом свете (непрерывном спектре); б) в самой сильной водородной линии видимой части спектра H_α (λ = 6563 Å); в, г) в линиях крайнего ультрафиолетового излучения λ = 171 Å, 304 Å. Фото "SOHO".

Источник снимков: Интернет, страницы Службы Солнца (www.sec.noaa.gov).

Шепот Вселенной

В. Н. РУДЕНКО,
доктор физико-математических наук



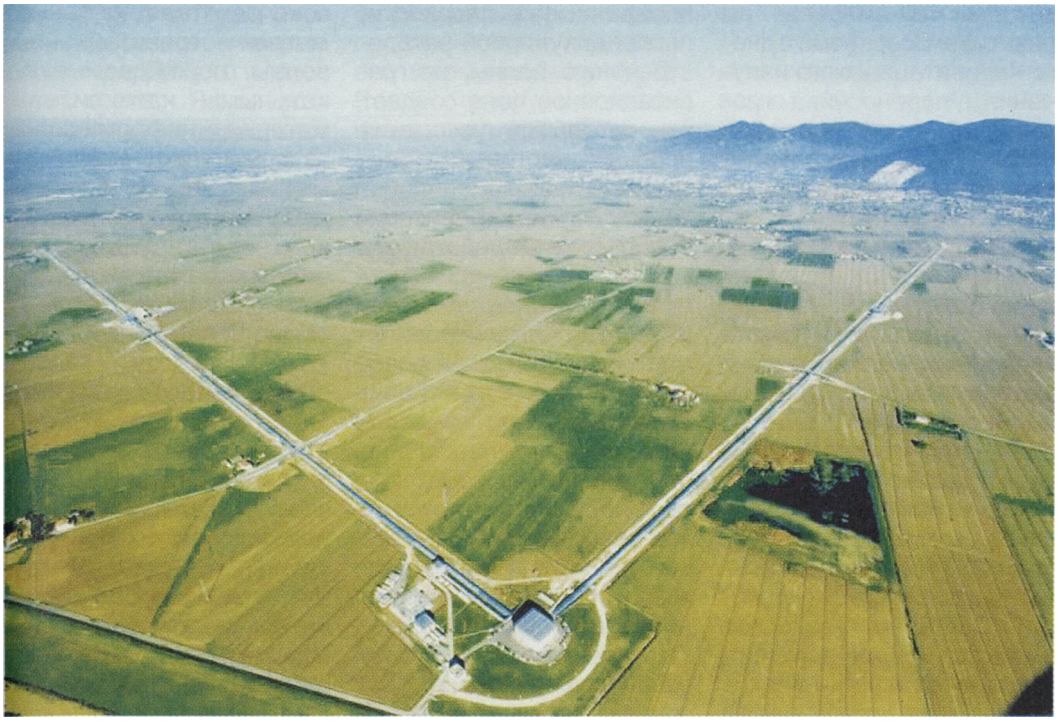
Гравитационные волны – вид космического излучения, давно предсказанный, но до сих пор не освоенный астрономами. Особенность проблемы экспериментального обнаружения гравитационно-волнового (ГВ) излучения внеземного происхождения в текущий момент можно охарактеризовать как напряженное ожидание первого сигнала. Хотя бы одного... Действительно, только сейчас, спустя почти сорок лет после старта гравитационно-волнового эксперимента на первых неохлаждаемых алюминиевых детекторах Вебера (или "болванках"; Земля и Вселенная, 1973, № 4), чувствительность созданных наземных установок приблизилась к оптимистической границе астрофизического прогноза для интенсивности и вероятного числа ГВ-сигналов, ожидаемых из глубин Вселенной. Если теория верна, мы должны наблюдать несколько событий в год. Таков уровень чувствительности современных гравитационных антенн, достигнутый ценой огромных интеллектуальных и технических усилий, материальных и временных затрат. Чтобы зарегистрировать несколько ГВ-событий в день, надо увеличить чувствительность еще на полтора-два порядка.

ГАИШ активно участвует в решении проблем гравитационно-волновой астрономии. Совместно с европейскими учеными Институт выполняет обработку и интерпретацию данных, полученных твердотельными гравитационными антеннами "Эксплорер" и "Наутилус", а также работает над программой поиска гравитационных сигналов на установке VIRGO.

ВОЛНЫ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

Скорый поезд, следующий из Рима, подходил к Пизе. Мне предстояло неделю провести в ее окрестности, у небольшого городка с почти русским звучанием – "Кашина", рядом с только что построенной гравитационной антенной – оптическим "интерферометром Майкельсона" на подвесных зеркалах с трехкилометровыми плечами. Этот гигантский бело-голубой искусственный "угол" посреди зелено-желто-коричневых полей быстро стал новой

© Руденко В.Н.



Гравитационный интерферометр VIRGO с трехкилометровыми плечами, расположенный в Пизанской долине (Италия). С помощью этого инструмента европейские астрономы, в том числе и российские, ведут поиск гравитационных сигналов из космоса.

достопримечательностью, даже гордостью местных жителей за то, что Пиза, всемирный исторический центр, теперь становится также центром мировой науки. Расклеенные плакаты популярно знакомили публику с намерениями ученых, работающих на диковинной установке. Их цель – поймать "волны пространства-времени", то есть гравитационные волны, идущие к нам из космоса. Задача исключительно трудная ввиду крайней слабости таинственных волн, которые образно называют "шепотом Вселенной".

Современная наблюдательная техника позволяет видеть объекты, удаленные на расстояние, которое свет покрывает за время жизни Вселенной. Особая роль в "дальнем видении" принадлежит радиотелескопам. Благодаря размещению различных детекторов на космических аппаратах кроме оптического диапазона освоены низкочастотные: микроволновые и инфракрасные. Они особенно эффективны при исследовании фона реликтовых фотонов и планет Солнечной системы. Используются также высокочастотные каналы: рентгеновский и гамма-радиационный. Кроме электромагнитного излучения мы в состоянии регистрировать потоки частиц из космоса – космические лучи (Земля и Вселенная, 2006, № 3) – с помощью высокогорных и подземных установок. Вершиной научного прогресса здесь следует считать нейтринные телескопы – крупногабаритные детекторы космических нейтрино. Это частицы, крайне слабо взаимодействующие с веществом и, значит, трудно регистрируемые.

Почти все теоретически предсказанные типы "переносчиков астрофизической информации" хорошо

изучены и освоены на практике. Все, кроме одного – гравитационного излучения, "переносчика гравитации" – самой слабой силы в микромире и самой мощной в макромасштабах. Оно остается незадействованным как носитель или канал информации о Вселенной.

Считается, что "гравитационные волны" теоретически предсказаны Эйнштейном. Это одно из следствий общей теории относительности (ОТО). Но фактически их существование становится очевидным уже из специальной теории относительности (СТО) как результат перехода к идее конечности скорости взаимодействий. Гравитационное поле, создаваемое некоторой массой, не может мгновенно появиться во всем окружающем пространстве. На это должно уйти время, зависящее от скорости распространения гравитационного взаимодействия и расстояния до точки наблюдения. Иными словами, некая "гравитационная волна" посредством соответствующего силового действия должна принести информацию о наличии поля источника.

Что это за волна? Какое она создает поле? Ответ на эти вопросы зависит от специфики конкретной развиваемой теории, в частности ОТО. Но принципиальный вывод о наличии гравитационных волн содержится в любом более-менее корректном варианте релятивистской теории тяготения. По ОТО, гравитационные волны – поперечные; в плоскости, перпендикулярной распространению волны, ее гравитационное поле создает относительные ускорения пробных частиц (материальных точек).

Особенность гравитационного взаимодействия в том, что к нему применим *принцип эквивалентности* (ПЭ), то есть независимость динамической реакции пробного тела в гравитационном поле от величины массы тела. Говоря "школьным языком", все тела падают с одним и тем же ускорением. В конце концов этот принцип приводит также к эквивалентности понятий гравитации и *геометрии пространства*. Все равно, ЧТО создает траекторию пробной частицы: силы тяготения или, при их отсутствии, геометрическая структура пространства, по геодезическим линиям (кратчайшее расстояние между двумя точками в пространстве) которого только и могут перемещаться пробные частицы. При формальном описании динамики реального трехмерного мира как эволюции точки (мировая линия) в четырехмерном пространстве, где время – четвертая координата, мы можем говорить о гравитационных волнах как о возмущениях четырехмерной геометрии мира.

Материя Вселенной через гравитацию формирует геометрию Мира, меняющуюся во временной шкале в миллиарды и десятки миллиардов лет. На этом сглаженном фоне живет стохастическая высокочастотная *рябь геометрии* – гравитационные волны, порождаемые локальными катаклизмами материи и информационно связывающие различные мировые точки. Сверхзадача для астрофизики нового века – научиться вначале перехватывать эту информацию, а затем ее расшифровывать.

ЧЕГО ЖДЕМ?

Инженеру или физику-экспериментатору, создающему гравитационно-волновой детектор, предыдущие рассуждения мало что дают. Его больше заинтересовали бы оценки параметров вероятного сигнала, который должен быть принят. Очевидно, что характерная амплитуда гравитационной волны, производящей возмущение пространства-времени, в безразмерной форме выражается через меняющееся во времени (осциллирующее для гармонической волны) поле относительных деформаций "h" (вариации метрики пространства). Составить представление о порядке величины амплитуды гравитационных волн можно из геометрии.

Закон тяготения Ньютона определяет гравитационный потенциал $\varphi = GM/R$ на поверхности сферического тела массы M и радиуса R (G – гравитационная постоянная Ньютона).

Отношение собственной гравитационной энергии тела $m\varphi$ к его энергии покоя дает безразмерный параметр $\varphi/c^2 = GM/Rc^2 = r_g/R \leq 1$, где r_g – гравита-

ционный радиус тела массы M (масса, выраженная в единицах G/c^2), c – скорость света. Ясно, что большей гравитационной энергией будут обладать источники с радиусом порядка гравитационного $R \approx r_g$. Такие объекты в астрофизике называются релятивистскими, или сверхплотными, звездами. Обычные звезды – это объекты со слабым полем, например, у Солнца гравитационный радиус $r_g \approx 3$ км и отношение $r_g/R \sim 10^{-6}$, где R – радиус объекта. Чтобы Солнце стало релятивистской звездой, его радиус должен уменьшиться до 3 км. Значительную гравитационную энергию могут трансформировать в гравитационные волны только релятивистские сверхплотные звезды. Чтобы излучение было мощным, этой энергии необходимо высвободиться за кратчайшее время. Соответствующая длительность динамического процесса (катаклизма) не может быть короче, чем $R/c \approx r_g/c$. Для объекта солнечной массы это время порядка 10^{-3}–10^{-4} с; при этом процесс идет со скоростями, близкими к световой. Таким образом, эффективный гравитационный излучатель должен быть релятивистским не только по величине гравитационного поля, но также и по быстроте динамики катаклизма. Иными словами, это взрывные процессы сверхплотных звезд.

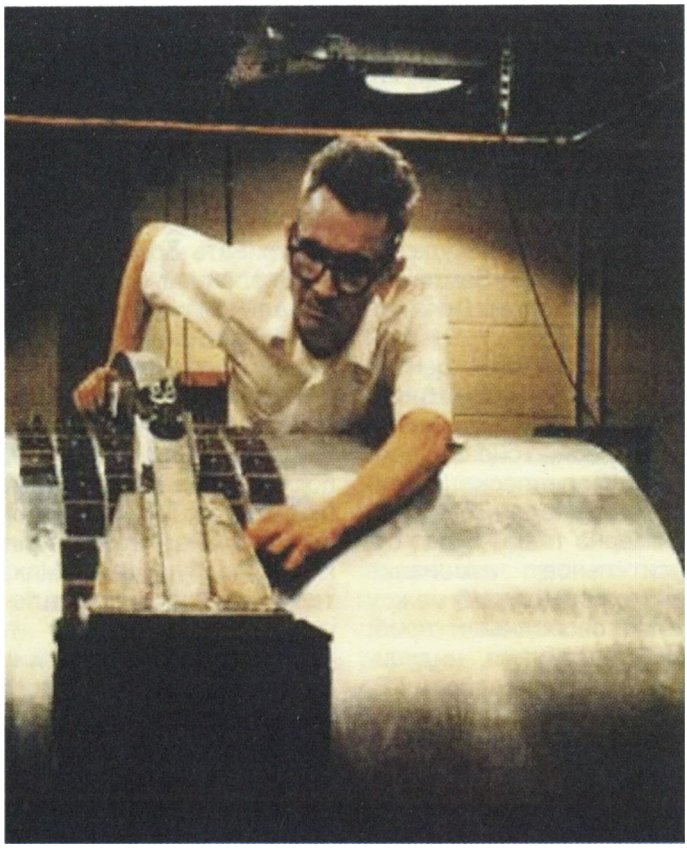
Теперь оценим амплитуду гравитационной волны, возбуждающей наземный детектор. Величина деформаций, искривляющих пространство на поверхности источника, – $h_0 \sim (r_g/R)$. Распространяясь от источника, амплитуда волны уменьшается обратно пропорционально пройденному расстоянию r. Отсюда ожидаемая амплитуда ГВ на поверхности Земли будет $h \sim (r_g/R)(r_g/r)$. Для нейтронной звезды ($r_g/R \sim 0.1$), образовавшейся в центре нашей Галактики ($r \sim 10$ кпк) в результате взрыва сверхновой, оценка амплитуды всплеска гравитационных волн $h \sim 10^{-18}$. Примерно таким будет относительное изменение расстояния ($h = \Delta l/l$) между двумя свободными пробными частицами, индуцированное всплеском ГВ. Если источник расположен дальше, например, в скоплении галактик в созвездии Девы ($r \sim 15$ Мпк), ожидаемые амплитуды 10^{-21} и меньше. Таким образом, "геометрический эффект", производимый ГВ, оказывается ничтожно малым.

В подобных условиях, казалось бы, надо рассчитывать на близкие источники. К сожалению, релятивистские звезды, да еще в момент катастроф, появляются не слишком часто. Событие типа вспышки сверхновой имеет вероятность 10^{-2} в одной галактике в течение года. Однако не каждая сверхновая рождает нейтронную звезду, излучающую ГВ-всплеск. Вероятность зарегистрировать другой "надежный излучатель", такой как слияние сверхплотных компонентов релятивистской двойной звезды в конце ее орбитальной жизни ($\sim 10^8$ лет), в самом оптимистическом варианте всего 10^{-4} в год на галактику. Чтобы набрать приемлемую частость событий (темп появления ГВ-сигналов), надо рассматривать большой объем Вселенной, зоны с максимальной плотностью галактик и звездных скоплений. Простые оценки показывают, что при амплитуде ГВ 10^{-21} и частоте событий около 10 в год (темп получения зарплаты для бюджетного ученого) требуемая зона наблюдения имеет радиус 10–20 Мпк, то есть включает скопление галактик в Деве.

Кроме сверхновых и слияния релятивистских двойных еще одним мощным импульсным источником могут быть коллапсары – катастрофы типа коллапса звезд, превысивших критическую массу, в черную дыру, но и для таких событий сохраняется приведенная выше оценка главных параметров ГВ сигнала – его амплитуды и частоты появления.

ЭТО МОЖНО РЕГИСТРИРОВАТЬ?

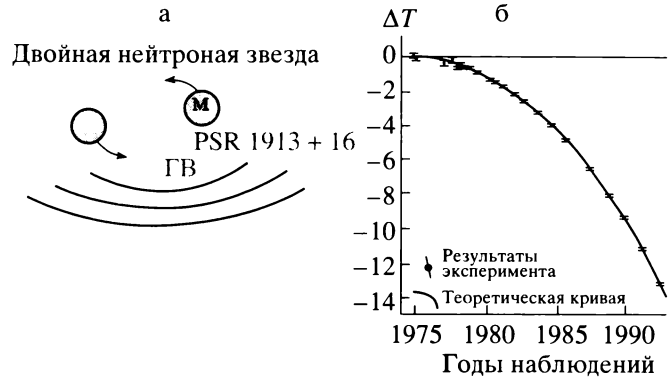
Пионером гравитационно-волнового эксперимента стал Джозеф Вебер из Мэрилендского Университета (США). Он создал гравитационный детектор, который теперь можно увидеть в одном из залов Смитсонианского музея в Вашингтоне. Упрощенно это – алюминиевая цилиндрическая болванка массой m = 1.2 т и длиной



Джозеф Вебер со своим гравитационным детектором в Мэрилендском университете (США, 1970). В настоящее время эта установка находится в Смитсонианском музее (Вашингтон).

l = 1.5 м. Вебер полагал, что поле относительных ускорений, переносимых гравитационным излучением, должно вызвать акустические волны в теле детектора, резонансно усиленные по амплитуде при соответствующем совпадении частот. Для регистрации акустической вибрации детектора использовались пьезодатчики, приклеенные на его цилиндрической поверхности. Веберу удалось довести чувствительность до уровня собственных тепловых (броуновских) шумов детектора, то есть регистрировать колебания с амплитудой $\Delta x \sim 10^{-14}$ см, энергия которых была порядка тепловой. Соответственно получим деформацию $h = \Delta x/l \sim 10^{-16}$; что на два порядка грубее, чем теоретически требуется для регистрации излучения от источника в центре Галактики. Тем не менее Вебер провел в 1968–1972 гг. серию наблюдений на паре пространственно разнесенных детекторов (Чикаго – Мэриленд), пытаясь выделить случаи, когда они одновременно срабатывают, то есть совпадают сигналы. Этот прием – поиск совпадений (заимствованный из экспериментов в ядерной физике) – и сегодня остается практически единственной методикой, позволяющей отличить эффект глобального воздействия на детекторы от их разнообразных локальных возмущений (следствие неидеальной изоляции детектора). Только совпадающие события могут быть кандидатами на гравитационные сигналы. Хотя Вебер отмечал такие события в своих наблюдениях, их статистическая значимость была воспринята критически. Однако старт гравитационно-волнового эксперимента состоялся! Дальнейшее его развитие заключалось в увеличении чувствительности детекторов веберовского типа и разработке новых антенн – на свободных массах.

На то чтобы достигнуть чувствительности, адекватной астрофизическому прогнозу, ушло тридцать пять лет. Небольшой по историческим меркам временной промежуток истрачен на решение не слишком простых технических проблем, часто находящихся вообще на границе возможного. Между тем именно в этот период экспериментаторы получили неожиданную поддержку со стороны астрофизиков-наблюдателей.



Релятивистская двойная звезда PSR 1213 + 16: а) компоненты объекта, вращающиеся вокруг общего центра масс. Система теряет энергию из-за излучения гравитационных волн (ГВ). М – пульсар (нейтронная звезда); б) график уменьшения периода вращения объекта (ΔТ – изменение периода). Анализ наблюдений этой релятивистской двойной звезды за 25 лет показал, что сокращение периода точно совпадает с теоретической кривой, рассчитанной с учетом потери энергии на гравитационное излучение.

При длительном слежении за динамикой релятивистской двойной PSR 1213 + 16, один из компонентов которой – пульсар, обнаружилось перманентное сокращение ее орбитального периода. Скрупулезный анализ данных, накопленных за двадцать пять лет, показал удивительно точное совпадение наблюдаемой динамики изменения периода с теоретической кривой, рассчитанной с учетом потерь энергии на гравитационное излучение. Требуемые для расчета массы компонент двойной определили при измерении классических релятивистских эффектов (смещение периастра, задержка радиосигналов и других), величина которых в сильном гравитационном поле увеличивается на несколько порядков. Так было найдено косвенное доказательство реальности существования гравитационного излучения в природе. В 1996 г. авторы этого исследования, Дж.Х. Тейлор и Р.А. Халс, получили Нобелевскую премию по физике, а инженеры-исследователи, занятые разработкой и созданием гравитационных антенн, – новое вдохновение в их изнурительном труде, погоне за "синей птицей волн мироздания".

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ АНТЕНН

Что ограничивает чувствительность твердотельной резонансной антенны и как вообще ее можно увеличить? Прежде всего, это тепловой броуновский шум. Его спектральная плотность (энергия на единицу спектрального интервала в 1 Гц) пропорциональна *температуре* и обратно пропорциональна *массе* и *добротности* детектора. Параметр добротность определяет потери колебательной энергии. Грубо говоря, это число колебаний за время релаксации детектора или за "время звона": ударили болванку – она звенит благодаря акустическим вибрациям, но постепенно затухает из-за внутреннего трения. Поварьируем эти параметры с целью уменьшения теплового шума. Массу болванки сильно увеличить (по сравнению с веберовской) затруднительно. Разумные габариты болванки позволяют довести массу до двух-трех тонн (максимум до пяти). Добротность, в принципе, есть свойство материала, и меняться с ростом массы не должна. Следовательно, основным рычагом борьбы с тепловым шумом является понижение температуры. Примерно двадцать лет ушло на разработку и реализацию техники сверхглубокого охлаждения массивного детектора до температуры порядка 10 мК. Оказалось, что с охлаждением растет и добротность детектора (уменьшаются внутренние потери материала).

Вместо начальной величины в 100 тыс. (при Т = = 300 К) низкотемпературная добротность алюминиевой болванки (при Т = 2 К) для основной продольной моды колебаний достигает нескольких миллионов.

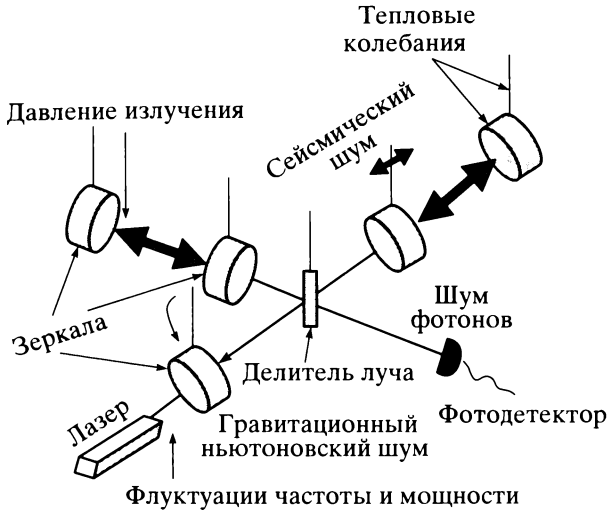


Схема оптического интерферометра Майкельсона на подвесных зеркалах для приема гравитационного излучения. Электромагнитные волны, многократно отражаясь от пробных масс-зеркал, во много раз увеличивают эффективную длину плеч интерферометра. Этим увеличивается амплитуда измеряемых колебаний. Показаны основные источники флуктуации, ограничивающие чувствительность.

Совокупная оптимизация ключевых параметров дает уменьшение шума на 6–8 порядков по энергии и на 3–4 по амплитуде шумовых деформаций детектора. В итоге реализация криогенной программы привела к созданию твердотельных детекторов с остаточной спектральной амплитудой деформационного шума (или шума "метрических вариаций"), не превышающей уровня $h \sim 10^{-22}$ Гц.

В какой области частот обеспечивается такая чувствительность? Для высокодобротного детектора эта полоса невелика, меньше одного герца. Чтобы ее расширить, применяются те же приемы, что и в радиотехнике. К торцу болванки детектора крепится второй осциллятор (в виде диафрагмы или грибочка-зонтика) малой массы, но с той же собственной частотой, что у детектора. Он называется *трансформатор смещений*. При этом достигаются две цели: во-первых, расширяется полоса приема; во-вторых, увеличивается измеряемая амплитуда *сигнальных колебаний*. Таким способом полоса приема твердотельных антенн была расширена до 10–20 Гц. Большего удалось достичь с другим типом гравитационно-волнового приемника – *интерферометрической антенной на свободных массах*.

Основу "антенны на свободных массах" составляет протяженный детектор с эффективным масштабом порядка километров, а не метров (как у веберовского детектора). Но тогда он уже не сплошное твердое тело. Это могут быть пробные массы (тела), подвешенные как маятники, расстояние между которыми контролируется (измеряется) с помощью электромагнитных волн, например лазерным излучением. Впервые использовать оптический интерферометр "майкельсоновского типа" как детектор гравитационных волн предложили советские ученые М.А. Герценштейн и В.И. Пустовойт. Затем американский профессор Р. Вайс увеличил *эффективную длину* плеч в этой схеме интерферометра за счет многократных отражений оптического луча от пробных масс-зеркал в каждом плече. Так, пробежав плечо в 3 км туда-обратно сто раз, луч как бы создаст для этой пробной пары базу в 300 км. Если за время пробега луча знак гравитационного сигнала (поля, переносимого волной) сохраняется, измеряемая величина деформации будет увеличена в 100 раз. Условие сохранения знака поля простое: эффективная длина плеча не может превышать половину длины гравитационной волны. На частоте волны 1 кГц этот масштаб как раз равен 300 км. Говоря на радиотехническом языке, антенна оказывается согласованной с принимаемым излучением.

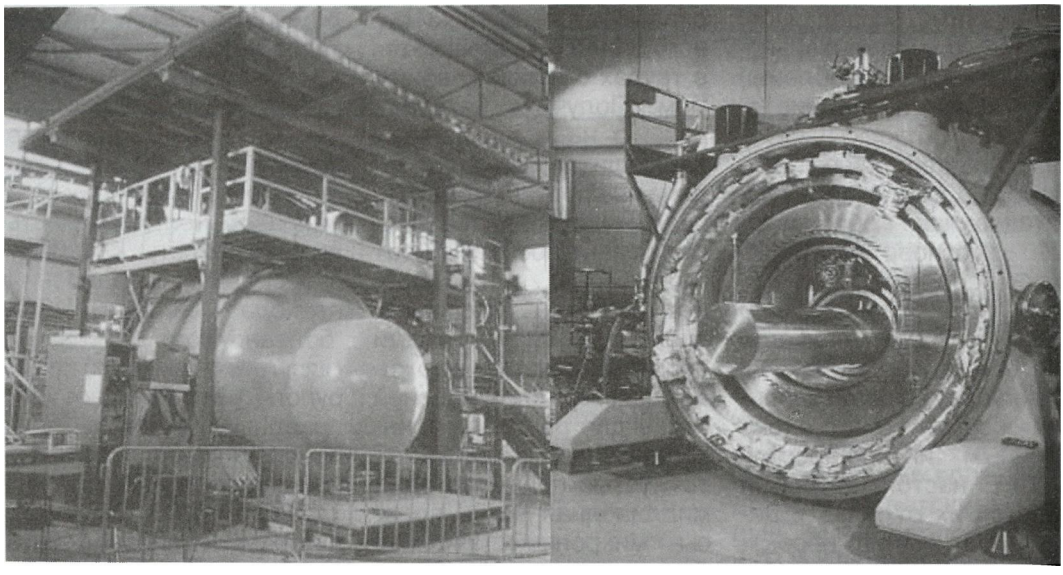
Строительство таких интерферометров (кстати, весьма дорогостоящее

предприятие, оправданное, однако, фундаментальностью решаемой проблемы) выполнено в последние годы в США (проект LIGO – Laser Interferometrical Gravitational Observatory – гравитационная обсерватория на основе лазерного интерферометра) и в Европе (итало-французский проект VIRGO – Very Large Interferometrical Gravitational Observatory – гравитационная обсерватория с очень длинным интерферометром). В настоящее время ведется их отладка с целью достижения проектной чувствительности. Инженерное решение было найдено как комбинация двухплечевого интерферометра Майкельсона с оптическими резонаторами Фабри–Перо. Фактически каждое из простых зеркал в плечах интерферометра Майкельсона было заменено более сложным двойным зеркалом, эталоном Фабри–Перо, являющимся к тому же прибором с многократными отражениями, или "многопроходным". Число проходов туда-обратно в нем описывается специальным параметром F ("финесс"), который математически связан с коэффициентом отражения зеркал $F = 2 \times \times (1 - R)^{-1}$, то есть при $R = 0.98$ число проходов $F = 100$ и т.д. Все элементы интерферометра: зеркала, делитель луча ("бимсплиттер"), а также источник оптической мощности (лазер), – подвешиваются на специальных антисейсмических фильтрах (при этом характерная маятниковая частота подвесок оказывается порядка одного герца) и размещаются в трубах с высоким вакуумом. Получить интерференцию на подвешенных, качающихся зеркалах задача не простая, и без специальных следящих систем тут не обойтись. Этот гигантский интерферометр "опутан" сложными электронными системами обратных связей, удерживающих зеркала в рабочей точке для реализации интерференции с требуемой точностью примерно одна миллиардная часть полосы микронной ширины! Для частот, хотя бы на порядок превышающих маятниковую частоту подвесок, то есть начиная с 10 Гц и выше, массы-зеркала могут считаться практически свободными. Их реакция на поле переменных ускорений гравитационной волны не зависит от ее частоты и определяется только вариацией амплитуды. Интерферометрическая антенна – широкополосный приемник, в отличие от твердотельных "болваночных" детекторов. Ее зона наилучшего приема занимает конечную область спектра частот между десятками герц и несколькими килогерцами с минимумом спектральной шумовой амплитуды (максимальной чувствительностью) в районе 100 Гц. Этот минимум для проектов LIGO и VIRGO должен составить примерно 10^{-22} Гц$^{-1/2}$, и установки LIGO на практике уже почти достигли этого уровня. На килогерцевой частоте шумовые характеристики существующих интерферометрических и лучших твердотельных антенн близки к уровню 10^{-21} Гц$^{-1/2}$.

Как и обычные радиоантенны, их "гравитационные собратья" обладают специфической диаграммой направленности, то есть их способность к приему зависит от направления прихода сигнала. Для "болваночного детектора" (или "гравитационного квадруполя") оптимальное направление прихода перпендикулярно продольной оси болванки. Для интерферометра структура диаграммы направленности более сложная как отвечающая двум перпендикулярным "гравитационным квадруполям".

Так или иначе, но важно, что гравитационный детектор "видит" не все небо одновременно. По этой причине интересно было бы иметь глобальную сеть детекторов, взаимно оптимально сориентированных. До такой оптимизации пока далеко, хотя какая-то сеть детекторов уже существует. В Европе наибольший вклад принадлежит итальянским ученым. Три твердотельных детектора: криогенный (T = 2 K) "Эксплорер" (ЦЕРН, Женева) и два суперкриогенных (T = 0.01 K), "Наутилус" (Фраскати, пригород Рима) и "Аурига" (Леньяро, пригород Падуи), разработаны и созданы Национальным Институтом Ядерной Физики, имеющим отделения во многих городах Италии.

Тот же институт в содружестве с Академией наук Франции построил в рамках совместного про-



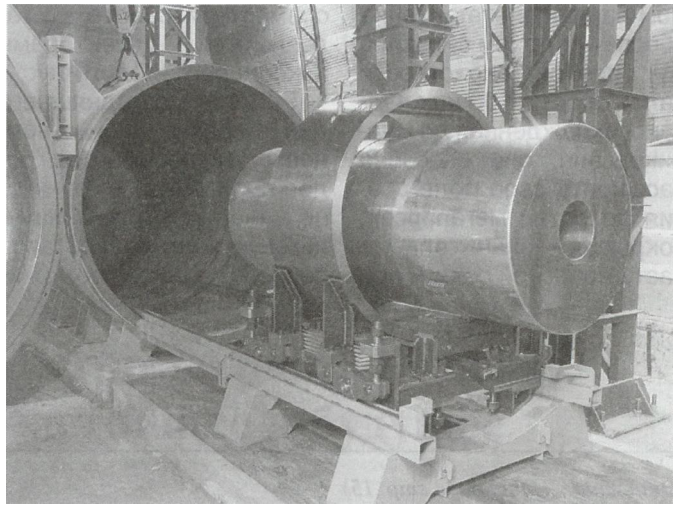
Суперкриогенные гравитационные детекторы "Наутилус" (слева) и "Аурига". Они входят в глобальную сеть гравитационных детекторов.

екта трехкилометровый гравитационный интерферометр VIRGO, расположенный в Пизанской долине (Италия). Можно упомянуть и совместный англо-германский проект ГЕО, приведший к созданию шестисотметрового интерферометра "ГЕО-600" под Ганновером.

В США после "веберовского периода" приоритет был отдан развитию интерферометрических установок, хотя один криогенный детектор, "Аллегро", был построен и работает в Луизианском Университете (Батон Руж). Но главное достижение кооперации американских университетов, финансируемой Национальным научным фондом, – создание двух четырехкилометровых интерферометров в рамках проекта LIGO. Один установлен на северо-западе под Сиэтлом (Ханфорд, штат Вашингтон), второй – на юге (Ливингстоун, штат Луизиана). Расстояние между этими детекторами около 3 тыс. километров, так что американские исследователи могут проводить поиск космических гравитационных сигналов по "схеме совпадений" независимо от остального научного сообщества.

Кроме этого, в рабочем режиме находятся японский трехсотметровый интерферометр TAMA-300 (Токио) и австралийский криогенный детектор "Ниобе" (Перт). Этим исчерпывается парк действующих инструментов. Существуют планы дальнейшего совершенствования и развития техники гравитационно-волновых антенн, которые пока реализуются в виде инженерных расчетов, лабораторных экспериментов с малыми моделями и технической отработки отдельных узлов будущих установок. Здесь упомянем только главные из таких проектов.

В классе твердотельных приемников уже ряд лет идет разработка и исследование сферического гравитационного детектора, преимущество которого при той же массе и температуре состоит в его "всенаправленности", то есть изотропной антенной диаграмме. Приближенно такой детектор эквивалентен сразу пяти цилиндрическим болванкам, скрещенным оптимальным образом. При этом значительно увеличивается вероятность детектирования случайных гравитационных всплесков и сокращается "вероятность пропуска сигнала". Вдобавок



Оптико-акустическая гравитационная антенна, состоящая из твердотельного и лазерно-интерферометрического детекторов (проект ОГРАН). Установка (видна ее акустическая часть) создана в ГАИШ в сотрудничестве с Институтом ядерных исследований РАН и Институтом лазерной физики РАН. Без охлаждения эта антенна обеспечит прием сигналов из окрестностей Галактики до 100 кпк. При охлаждении до 10^{-2} К ее поле зрения достигнет 100 Мпк.

рассматривается техническая возможность увеличения массы сферы до 30 т при охлаждении ее до единиц милликельвин, что в перспективе ведет к чувствительности 10^{-23} Гц$^{-1/2}$. Для интерферометров с большими базами уже отработаны модификации с охлаждаемыми подвесками и зеркалами, которые сулят достижение чувствительности в широкой частотной полосе. Предлагаются также "беззеркальные" отражающие системы, то есть без напыления отражающих покрытий, обладающих специфическим шумом.

Наконец, особняком стоит весьма амбициозный проект LISA (Laser Interferometrical Space Antenna – космический лазерный интерферометр) с базой в несколько миллионов километров, рассчитанный на прием инфранизких частот 10^{-1}–10^{-3} Гц, которые характерны для всплесков от массивных релятивистских объектов, например черных дыр, а также для излучения двойных белых карликов. Исследования по этому проекту проводят совместно NASA и ESA, но его осуществление, в лучшем случае, потребует десятилетий.

В конце 60-х гг. прошлого столетия инициатором исследований гравитационно-волновой астрономии в ГАИШ был академик Я.Б. Зельдович. Кроме теоретических исследований возможных астрофизических источников гравитационных волн, Я.Б. Зельдович с молодыми коллегами из МГУ организовал экспериментальные работы, которые вначале проводились на базе Физического факультета МГУ, а последние годы переместились в ГАИШ, где более десяти лет находилась в дежурном режиме гравитационная антенна "УЛИТКА".

В настоящее время ГАИШ тесно сотрудничает с итальянскими учеными, в частности с Группой твердотельных антенн (РОГ-коллаборация) и с коллективом, работающим над проектом VIRGO. Проводятся совместные теоретические исследования новых источников гравитационных волн, анализ данных, поступающих с твердотельных антенн, а также изучается возможность измерения гравитационного поля Земли с помощью больших интерферометров.

Кроме того, ГАИШ совместно с институтами РАН – Ядерных исследований и Лазерной физики (Сибирское отделение) – выполняет проект создания оптико-акустической гравитационной антенны (ОГРАН), являющейся комбинацией твердотельного и лазерно-интерферометрического детекторов. Планируется, что она будет установлена в подземном помещении Баксанской нейтринной лаборатории ИЯИ РАН для защиты от потоков космических лучей. В неохлаждае-

мом варианте эта антенна обеспечит прием сигналов из близкой окрестности Галактики до 100 кпк. Однако, охлажденная до милликельвин, она способна расширить свое поле зрения до сотни мегапарсек, покрывая значительную часть небесной сферы при совместной работе с итальянскими детекторами "Эксплорер" и "Наутилус".

Реалии сегодняшнего дня в гравитационно-волновых экспериментах более прозаичны, но отнюдь не менее волнующи: научный мир ждет результатов первой длинной, по крайней мере годовой, серии наблюдений на интерферометрах нового поколения. Ах, как хотелось бы поймать эту "синюю птицу" удачи, *прежде чем* и *для того, чтобы* пускаться в дальнейший путь – в лабиринт новых исследований...

(Окончание. Начало см. стр. 15)

Плутон меньше Луны. Уже это вызывало сомнения в статусе "девятой планеты" (может ли такое небольшое небесное тело считаться "настоящей" планетой?), и сомнения возрастали по мере открытия небесных тел, которые, казалось, могли стать десятой, одиннадцатой или даже двенадцатой планетой...

Хотя Плутон объявлен карликовой планетой, он, несомненно, будет по-прежнему интересен астрономам, стремящимся получить информацию о нем и его спутниковой системе, используя наземные и космические средства. В системе Плутона уже открыто три спутника. В июне 2006 г. МАС присвоил официальные названия двум новым спутникам Плутона – Никс (Nix) и Гидра (Hydra). Блеск этих маленьких лун примерно в 5 тыс. раз слабее, чем блеск Плутона, размеры всего 40–160 км (диаметр Плутона – 2284 км, Харона – 1192 км), они расположены в 2.5–3 раза дальше Харона. В мае 2005 г. эти крошечные спутники были открыты с помощью КТХ (Земля и Вселенная, 2006, № 2). Выбирая названия новым спутникам, астрономы перебрали свыше двадцати имен из мифологии, прежде чем нашли те, что связаны с Хароном. В греческой мифологии Никс (Nyx) – богиня ночи, мать Харона. Но астероид с таким именем уже есть (№ 3908). Поэтому пришлось воспользоваться его эквивалентом (Nix) из древнеегипетской мифологии. Гидра – это девятиголовое чудовище, обитавшее в реке царства мертвых, по которой паромщик Харон перевозил души умерших. Такие имена спутников взяты еще и потому, что N и H – сокращение от "New Horizons" – названия американской АМС "Новые горизонты", запущенной к Плутону 19 января 2006 г. (Земля и Вселенная, 2006, № 3). Эта АМС в июле 2015 г. должна впервые в истории науки приблизиться к Плутону, произвести картографирование поверхности Плутона, Харона и, возможно, других спутников Плутона. В случае успеха космической миссии уникальная информация будет передаваться до апреля 2016 г.

Но уже сейчас, возможно, пора вносить существенные поправки в школьные и вузовские учебники астрономии, а также в астрономические энциклопедии и справочники (их авторы не успевают за стремительным прогрессом астрономической науки!).

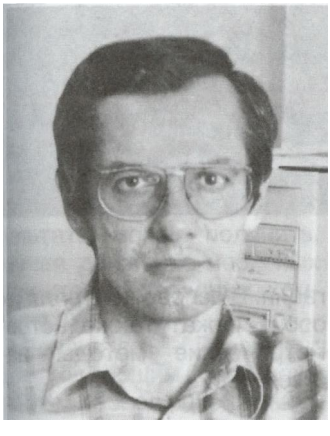
А вот каково астрологам? Думаю, что им нелегко придется, поскольку они привыкли "работать" с Плутоном – мрачной планетой, а не с каким-нибудь транснептуновым объектом. Впрочем, особенно беспокоиться об астрологах не нужно: их "наука" всегда успешно развивается, не взирая ни на какие достижения и события в астрономии...

Вопрос о статусе Плутона, скорее всего, будет окончательно решен через 3 года, когда состоится очередной съезд МАС. За это время представится возможность спокойно и объективно прогнозировать доводы тех астрономов, которые считают, что Плутон – все-таки полноправная планета Солнечной системы.

Е.П. ЛЕВИТАН

Астрометрия XXI века: настоящее и будущее

В. Е. ЖАРОВ,
доктор физико-математических наук
К. В. КУИМОВ,
доктор физико-математических наук

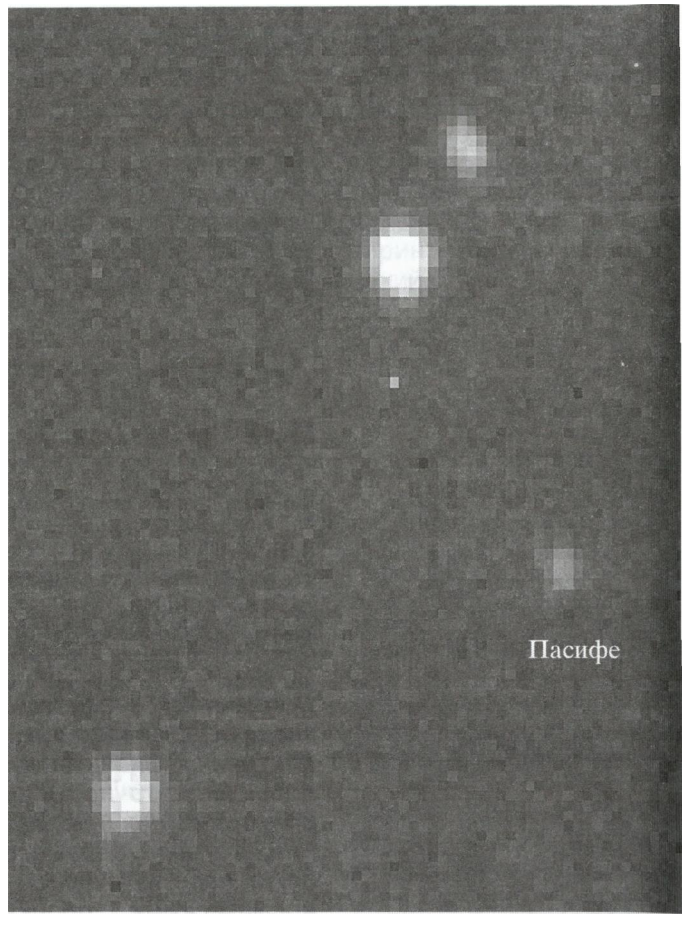


Основная задача астрометрии – построение небесной системы координат, относительно которой определяется положение небесных тел. Эта информация необходима для изучения динамики Солнечной системы, звезд в нашей и других галактиках. Значительное повышение точности астрометрических наблюдений, которое связывается, в первую очередь, с космическими проектами, позволит не только построить систему координат нового поколения, но и обнаружить движение внегалактических источников, уточнить шкалу космологических расстояний, построить трехмерную карту Галактики, исследовать структуру звездных скоплений, обнаружить планеты у звезд (экзопланеты) и решить многие другие задачи. Успех зависит также от радикального увеличения количества наблюдаемых объектов. Поэтому астрометрия XXI в. будет опираться на космические автоматизированные инструменты, оснащенные современными приемниками излучения.

АСТРОМЕТРИЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Для описания движения небесного тела из астрометрических наблюдений определяются *шесть параметров*: три компоненты вектора положения и три компоненты вектора скорости в прямоугольных (декартовых) координатах. В сферической системе – это *прямое восхождение* и *склонение*, скорости их изменения (*собственные дви-*

© Жаров В.Е., Куимов К.В.



Область неба, содержащая восьмой спутник Юпитера, Пасифе (18^m), и окружающие звезды. Снимок получен сотрудницей ГАИШ МГУ А.Ю. Соколовой на 60-см рефлекторе Специальной астрофизической обсерватории с помощью ПЗС-камеры. Изображение состоит из отдельных элементов (пикселов). В один пиксел проецируется участок небесной сферы размером 0.9". Современные алгоритмы обработки изображений позволяют вычислить координаты объекта с точностью, в 10 и более раз лучшей, чем размер пиксела, то есть примерно 0.1".

жения), параллакс и лучевая скорость. Задание указанных параметров эквивалентно заданию вектора положения и вектора скорости. Точное измерение этих векторов позволяет решить множество задач в различных областях астрономии.

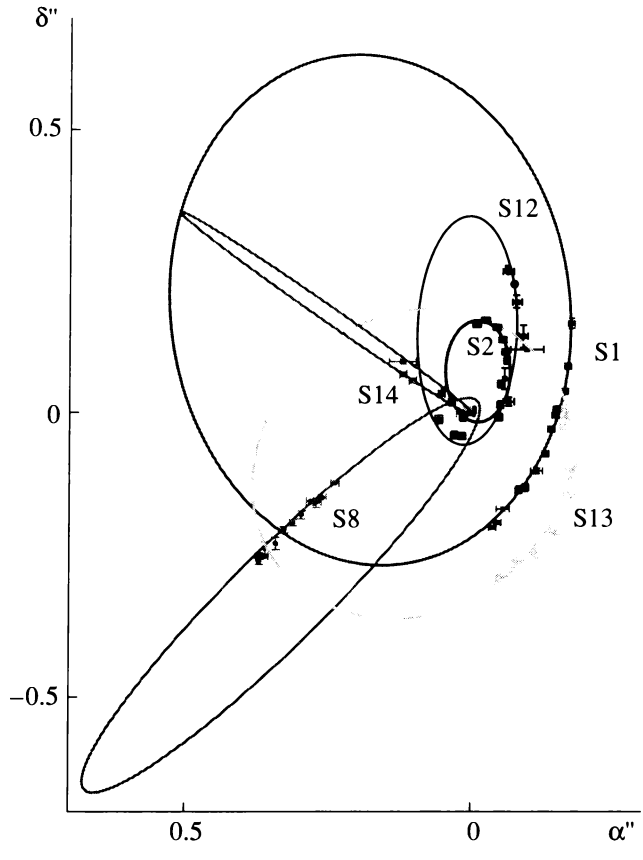
Движение тел Солнечной системы сейчас изучено с такой точностью, о какой нельзя было и мечтать полвека назад. Современная теория движения планет и других небесных тел опирается на наблюдения их положений, выполненные за последние 200 лет. Хотя движение больших планет изучается на основе анализа данных движения космических аппаратов, классические астрометрические наблюдения малых тел Солнечной системы с помощью современных телескопов и фотоприемников еще долго будут необходимы. Повышение точности наблюдений спутников планет, астероидов и комет связано с использованием ПЗС-приемников (приборов с зарядовой связью), позволяющих отслеживать объекты до 20–21^m с точностью около 0.1". Это дает возможность изучать динамику малых тел, открывать новые астероиды и кометы, осуществлять поиск потенциально опасных для землян небесных объектов.

Изучение движения небесных тел Солнечной системы необходимо космонавтике. Расчет траекторий космических аппаратов невозможен без знания точных орбит планет. Это относится и к движению ИСЗ, которые используются в метеорологии, для связи и других целей. Наиболее точно нужно знать положение спутников, входящих в глобальные системы спутниковой навигации. В основе контроля их орбит лежат также астрометрические методы наблюдений.

АСТРОМЕТРИЯ ГАЛАКТИКИ

Измерение астрометрических параметров звезд, например с точностью до 0.01 мс дуги (на порядок выше, чем в настоящее время), обеспечит решение многих проблем строения и эволюции Галактики и ее составных частей.

Из астрометрических наблюдений звезд следует, что в центре Галактики есть сверхмассивная черная дыра. На это указывают боль-



Движение звезд в области центра Галактики. Точки показывают положения звезд из наблюдений, эллипсы – вычисленные по ним орбиты. Точность положений – от 0.002" до 0.008". Видно, что звезды движутся вокруг притягивающего центра (вероятно, черной дыры). Периоды обращений (15–342 года) позволяют оценить его массу – около $3.5 \times 10^6 M_\odot$. S1, ..., S14 – обозначения звезд. Наблюдения в инфракрасных лучах сделаны в течение нескольких лет на крупных телескопах с диаметром зеркала 3.5 м и больше (R. Schödel и др., The Astrophys. J., V. 596, 1015–1034, 2003).

шие скорости звезд, находящихся недалеко от галактического центра. Более того, сейчас астрономы почти уверены, что известна лишь незначительная часть масс, создающих гравитационное поле Млечного Пути. Это один из примеров, показывающих, что дает нам изучение движений небесных тел.

Фундаментальные результаты можно получить, изучая движение небесных объектов в звездных комплексах.

Подсистемы Галактики связаны общим происхождением и эволюцией. Высокоточная астрометрия будущего позволит выяснить, какие звезды, наблюдающиеся в определенной области неба, относятся к конкретному скоплению, а какие – нет. Можно будет вычислить массу той части скопления, которая состоит не из звезд, провести кинематическое и динамическое исследование скопления. Интерпретация кинематических свойств скоплений поможет понять процесс их эволюции: найти долю убегающих звезд, формирующихся двойных звезд, изучить процесс приливного разрушения.

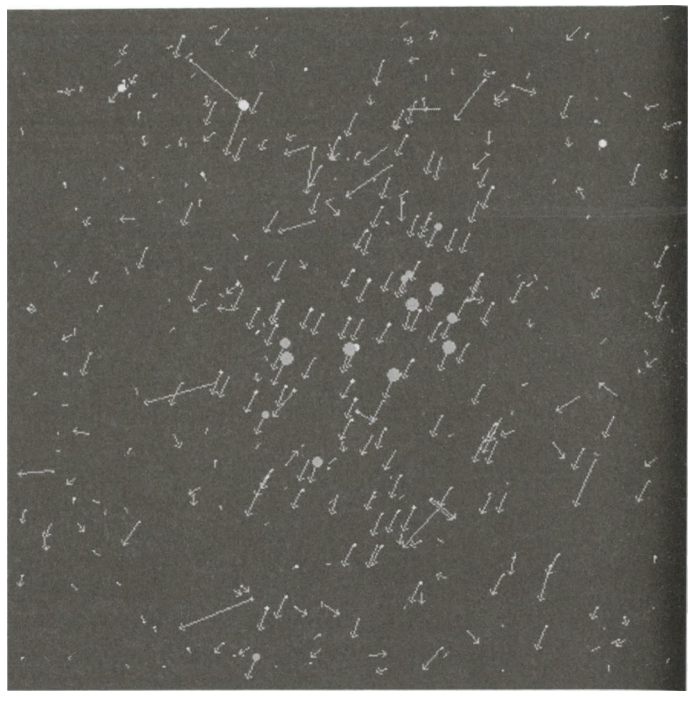
По движениям объектов внутри Галактики астрономы смогут изучить спектральный и химический состав, тип переменности и возраст звезд.

Повышение точности наблюдений до 0.01 мс дуги даст возможность открыть множество планет типа Юпитера в сфере с радиусом 50 пк и в сотни раз большее число коричневых карликов. Обнаружить их можно по нелинейности движений звезд, что говорит о существовании у них невидимых компаньонов.

Правомерна и более общая постановка задачи: найти распределение масс в Галактике на основе измерения положений и векторов скоростей наибольшего числа звезд Галактики. При этом необходимо, чтобы выборка была достаточно равномерной по всей Галактике, включая гало. Нужно также, чтобы в ней присутствовали все типы звездного населения: звезды на различных этапах эволюции, карлики и гиганты, двойные и одиночные звезды. Все это потребует применения новейших методов астрономических наблюдений.

ВНЕГАЛАКТИЧЕСКАЯ АСТРОМЕТРИЯ

Перед астрометрией стоят и задачи, выводящие ее за пределы Галактики. Это, в первую очередь, опреде-



Карта рассеянного звездного скопления Плеяды. Стрелками показаны направления и величины собственных движений звезд, полученные по наблюдениям КА "Гиппаркос". Собственные движения, наряду с другими данными, позволяют определить численность звезд в скоплении, расстояние до него, принадлежность к той или иной составляющей Галактики и другие сведения. Из приведенной карты можно понять, какие звезды принадлежат к скоплению Плеяды. Направления и величины их собственного движения приблизительно совпадают. Предоставлено В.В.Чазовым.

ление расстояний до небесных объектов. Один из методов – по видимому блеску и истинной светимости. О последней можно судить по физическим характеристикам звезд, например по спектрам, периодической переменности звезд разных типов. Однако данный метод подразумевает, что истинная светимость некоторых звезд каждого класса уже известна. То есть расстояние до этих звезд измерено по их тригонометрическим параллаксам. Значения параллаксов используются для определения даже самых больших "космологических" расстояний, знание которых позволяет построить трехмерную карту распределения небесных тел. Такая карта необходима для однозначного решения большинства задач космологии и астрономии, таких как определение и возможное изменение во времени постоянной Хаббла, определение возраста и размера Вселенной, количества скрытой материи.

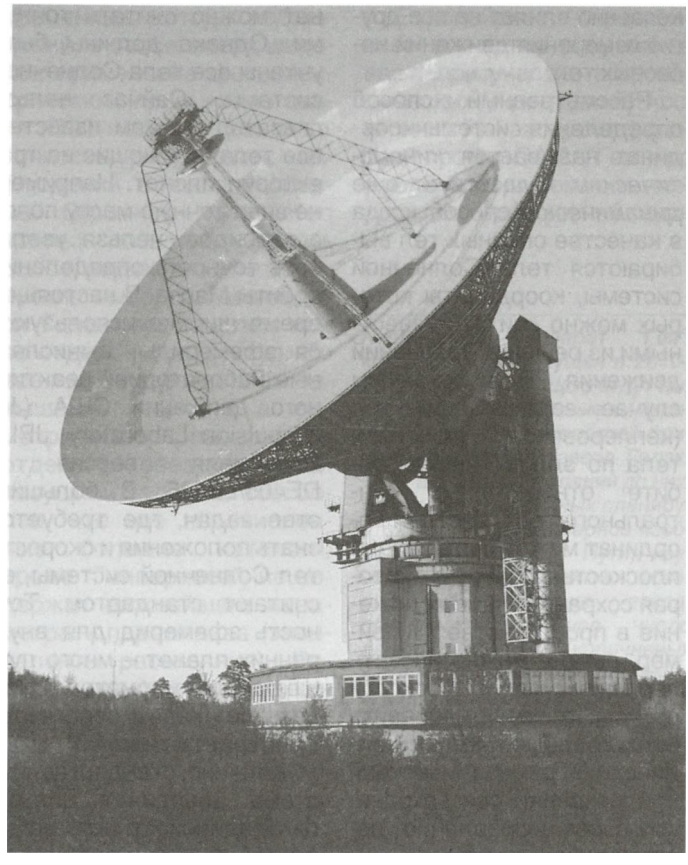
Мы обрисовали вкратце проблемы, которые можно решать методами астрометрии. Перейдем теперь к основной задаче астрометрии – *определению системы отсчета, относительно которой измеряются координаты всех небесных тел.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕБЕСНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

В настоящее время наилучшей системой координат является система, задаваемая внегалактическими опорными радиоисточниками. Она построена в результате более чем 20-летних наблюдений на радиоинтерферометрах со сверхдлинными базами (РСДБ; Земля и Вселенная, 2003, № 4).

Начало этой системы помещается в центр масс (барицентр) Солнечной системы. Из-за большого расстояния до радиоисточников изменение их угловых координат и параллактические смещения очень малы (лучевая скорость не влияет на их координаты). Поэтому такая небесная система близка к инерциальной системе координат. Считается, что подобная система не вращается; говорят, что она квазиинерциальная (почти инерциальная). Квазиинерциальность системы координат вызвана изменением направления прихода лучей света (или радиолучей) на телескопы от далеких источников.

Это происходит по двум причинам. Первая заключается в том, что движение облаков излучающей плазмы во внегалактических источниках или появление и исчезновение этих облаков приводят к видимому смещению центра яркости и, следовательно, положения опорного источника на небе. Вторая причина – фотон в пространстве движется не



Радиотелескоп около Калязина. Диаметр антенны 64 м. Такие телескопы объединены в одну систему – радиоинтерферометр со сверхдлинной базой. Радиоинтерферометр позволяет определять небесные координаты далеких внегалактических радиоисточников с наивысшей точностью и построить инерциальную систему координат.

по прямой линии. Отклонения от прямой возникают, когда свет распространяется в среде, обладающей показателем преломления, отличным от единицы. Это может быть связано с наличием вещества в направлении луча зрения. Кроме того, известен эффект, названный микролинзированием (Земля и Вселенная, 1993, № 2), вследствие которого свет от далеких квазаров движется по искривленной траектории, определяемой гравитационными полями звезд нашей Галактики (Земля и Вселенная, 2004, № 3). Из-за движения звезд картина гравитационных полей нестационарна. Соответственно меняется траектория фотонов от источника света до наблюдателя. Это приводит к флуктуациям положения изображения опорного источника на небе. Среднеквадратичная величина таких флуктуаций задает некоторый принципиальный предел точности фундаментальных астрометрических каталогов.

Изменение направления на источник может быть измерено. Если обнаруженное движение – действительно движение квазара, то его ожидаемая величина – порядка 0.01 мс дуги в год. Приблизительно такова же (от единиц до сотен микросекунд) оценка флуктуаций его положения из-за микролинзирования. Отсюда следует ограничение точности, с которой может быть построена внегалактическая система отсчета, а именно от 0.01 до 0.001 мс дуги.

На этом уровне точности необходимо, чтобы источники оставались неразрешенными, то есть наземные РСДБ должны воспринимать их как точки. Если источники имеют видимые размеры, то их важно измерить, чтобы лучше понять физику объектов. Затем строится изображение радиоисточников. Это основная цель многоэлементного РСДБ. Разрешающая способность интерферометра должна быть лучше 0,01 мс дуги, чтобы построить изображения выбросов из ядер квазаров, изучить их эволюцию и движение компонент. Другой способ построения небесной системы координат высокой точности – использование наблюдений в оптическом диапазоне спектра, поскольку структура квазаров (их нельзя считать точечными источниками) в этом диапазоне гораздо более стабильна.

Так как квазары – удобные "опорные точки" для небесной системы отсчета, то непрерывные астрометрические наблюдения этих объектов, из которых определяются их точные положения, – фундаментальная задача астрометрии. Ее решение

косвенно влияет на все другие измерения движений небесных тел.

Рассмотренный способ определения системы координат называется *кинематическим*. Существует еще *динамический* способ, когда в качестве опорных тел выбираются тела Солнечной системы, координаты которых можно считать известными из решения уравнений движения. В простейшем случае задачи двух тел (кеплеровское движение тела по эллиптической орбите относительно центрального тела) система координат может быть задана плоскостью орбиты, которая сохраняет свое положение в пространстве. Например, осью z можно назвать перпендикуляр к плоскости орбиты, а ось x направить вдоль большой полуоси эллипса. В рамках ньютоновой механики оси сохраняют свое направление неограниченно долго.

В действительности ни положение плоскости орбиты в пространстве, ни положение ее большой полуоси не остаются постоянными из-за возмущений со стороны других тел Солнечной системы и эффектов общей теории относительности (см. ст. В.Н. Руденко в этом номере). Поэтому динамическая система отсчета задается *эфемеридами* – таблицами положений Солнца, Луны и больших планет. Эти эфемериды – также результат решения уравнений движения тел Солнечной системы, но уже численным методом, а не аналитическим, как в задаче двух тел. Если уравнения правильно описывают движение тел и решены правильно, то вычисленные координаты планет можно считать точными. Однако должны быть учтены все тела Солнечной системы. Сейчас нельзя сказать, что нам известны все тела, влияющие на траектории планет. Например, не зная точную массу пояса астероидов, нельзя увеличить точность определения орбиты Марса. В настоящее время широко используются эфемериды, вычисленные Лабораторией реактивного движения США (Jet Propulsion Laboratory, JPL). Последняя версия – DE405/LE405. В большинстве задач, где требуется знать положения и скорости тел Солнечной системы, ее считают стандартом. Точность эфемерид для внутренних планет – много лучше одного километра. Тридцать лет назад это считалось фантастикой.

Конечно, стандартная система координат должна быть единой, то есть не зависеть от того, координатами каких тел реализована. Поэтому астрометристы принимают специальные меры к тому, чтобы кинематическая и динамическая системы возможно более точно совпадали.

Итак, мы установили фундаментальную небесную систему координат. Как же ею воспользоваться? Ведь необходимость определить координаты какого-нибудь небесного тела возникают очень часто. На любом снимке неба нельзя найти нужный объект, если неизвестны его координаты. Наиболее простой путь – определить его координаты относительно других тел на этом же снимке, координаты которых уже известны. Поэтому необходимо, чтобы на снимке было много объектов с известными координатами. Для практического применения опорной системы астрометристы составляют каталог звезд. Их может быть несколько. В идеальном случае каталог должен содержать шесть описанных выше параметров для каждой звезды. Зная эти параметры, нетрудно вычислить положение звезды в любой момент времени.

КОСМИЧЕСКИЕ АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ

В настоящее время опорную систему в оптическом диапазоне спектра реализует каталог, составленный по наблюдениям на ИСЗ "HIPPARCOS" (HIgh Precision PARallax COllecting Satellite – собиратель параллаксов высокой точности), или "Гиппаркос", по имени известного древнего ученого Гиппарха. ИСЗ работал в 1989–1993 гг. (Земля и Вселенная, 2003, № 5). В этом каталоге приведены положения, собственные движения за год и параллаксы свыше 10^5 звезд. Их точность составляет около 1 мс. К сожалению, на космическом аппарате не было спектральной аппаратуры для измерения лучевых скоростей звезд. Космический телескоп определял угловые расстояния между всевозможными парами звезд, и по этим данным вычислялись астрометрические параметры. Использование космического аппарата позволило увеличить точность их определения в 100 раз (кроме лучевой скорости). Однако этих звезд все же слишком мало, чтобы удовлетворить потребности астрономов.

Можно двумя способами увеличить число звезд с известными астрометрическими параметрами. Первый из них – создание космического аппарата, обладающего бóльшими возможностями, чем были у "Гиппаркоса". Однако создание его – длительная и дорогостоящая работа. Еще более долгой может оказаться обработка наблюдений. Второй способ включает использование наземных наблюдений. При этом в качестве опорных звезд используются звезды каталога "Гиппаркос". К 2006 г. уже созданы каталоги, содержащие миллионы звезд, десятки миллионов, сотни миллионов или даже миллиард звезд. К сожалению, точность параметров каждой отдельной звезды снижается с увеличением объема каталога. Правда, современные методы наблюдений, в особенности широкое применение фотоэлектрических приемников света (ПЗС-матриц), повышает точность результатов наблюдений большого объема. Огромное количество данных позволяет делать более надежные статистические выводы, касающиеся Галактики в целом или ее отдельных структур. Но все-таки существенное повышение точности астрометрических параметров отдельных звезд является насущной задачей. Тем более, что все перечисленные большие каталоги, кроме "Гиппаркоса", не содержат важнейшего параметра – параллакса (эквивалента расстояния). Радикальное решение задачи возможно только с помощью космических аппаратов.

Европейское космическое агентство разрабатывает (при участии астрономических учреждений) космический астрометрический проект GAIA ("Гея"), по имени богини Земли и плодородия. Принцип наблюде-

Космический аппарат "Гея", который будет запущен в 2010–2012 гг. С его помощью будут выполнены высокоточные измерения координат и скоростей примерно миллиарда звезд Галактики, а также расстояний до них. На основе этих данных планируется получить трехмерное изображение Млечного Пути, изучить структуру Галактики, историю формирования звезд, обнаружить большое число двойных звезд и коричневых карликов, планетных систем у звезд, неизвестных астероидов в Солнечной системе и построить небесную систему координат нового поколения. Рисунок ESA.

ний аналогичен "Гиппаркосу". Однако у космического аппарата "Гея" есть важное дополнение – специальный телескоп со спектральной аппаратурой для определения лучевых скоростей звезд. Этот КА определит также звездные величины в нескольких спектральных диапазонах. Кроме того, его цель – открытие планет около других звезд, не наблюдаемых или вообще не излучающих объектов. Миллиард звезд – это 1% населения Галактики, причем они находятся во всех областях Галактики, и далеких от центра, и близких к ядру. Это позволяет назвать проект GAIA "переписью звезд Галактики". Но космическая обсерватория будет регистрировать все объекты, которые попадут в поле зрения, в том числе и тела Солнечной системы. Ожидается, что ИСЗ "Гея" откроет много новых тел в Солнечной системе. Это позволит уточнить наши представления о происхождении и эволюции Солнечной системы или даже радикально пересмотреть их.

В России разрабатывается проект космической астрометрической обсерватории "ОЗИРИС" (Земля и Вселенная, 2006, № 5). Его оптическая система представляет собой интерферометр. Не вдаваясь в подробности, скажем только, что такая система позволит измерить астрометрические параметры более точно, чем сканирующий аппарат, но значительно меньшего числа (несколько тысяч) звезд. "ОЗИРИС" не обозревает все небо, а наблюдает определенные объекты по заданной программе. Это позволит значительно уменьшить зависимость точности измерений от яркости звезд, получить астрометрические параметры слабых, но интересных объектов.

Нужны ли астрометристам две (или более) космические обсерватории? Да, потому что каждый КА вносит присущие только ему систематические ошибки, определить которые можно, сравнив результаты наблюдений разных аппаратов.

Пока астрономы не могут позволить себе этого. Постоянное слежение за движущимися телами и внезапно появляющимися объектами сегодня возможно только с Земли. Современные фотоприемники и совершенствование телескопов повышают точность наблюдений на порядок по сравнению с прошлым десятилетием.

Точные массовые наблюдения становятся все более универсальными. Один и тот же телескоп позволяет определять все большее число параметров, астрометрических, фотометрических и спектральных. Соответственно интерпретацией результатов занимаются ученые, работающие в разных областях астрономии. Астрометристы, "генетически" обладающие вкусом к точному результату, привносят в эту интерпретацию строгие методы обработки наблюдений, точные методы оценки случайных и систематических ошибок и другие старые, но полезные традиции.

Немалый вклад в решение проблем астрометрии будущего вносят и сотрудники ГАИШ. Они выполнили переобработку данных "Астрографического каталога" (первого фотографического обзора неба, 1891–1950 гг.; Земля и Вселенная, 2003, № 6). В сочетании с данными "Гиппаркоса" это позволило определить координаты и собственные движения миллиона звезд с очень высокой точностью. За эту работу А.В. Кузьмин, К.В. Куимов и В.В. Нестеров удостоены Ломоносовской премии МГУ.

В.Е. Жаров в составе группы европейских ученых отмечен в 2003 г. премией им. Декарта (высшей премией Европейского Союза) за разработку новой теории нутации Земли (Земля и Вселенная, 2004, № 2).

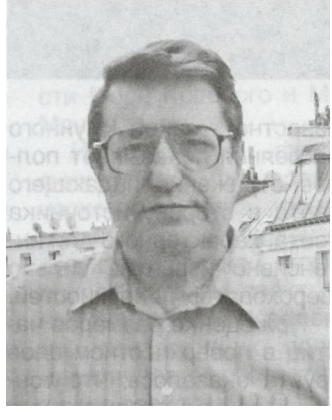
За последние двадцать-тридцать лет точность астрометрических наблюдений увеличилась на три порядка. Полученная информация была использована для решения задач в различных областях астрономии. Многие ученые с нетерпением ждут новые, более точные астрометрические данные, поскольку они необходимы для понимания строения Вселенной.

Астрометристы ГАИШ активно участвуют в разработке проектов "ОЗИРИС" и "Радиоастрон" (космический радиотелескоп для сверхвысокого разрешения радиоисточников; Земля и Вселенная, 2000, № 4), в программах по наблюдению спутников Земли и других планет Солнечной системы, малых тел с целью изучения их динамики и поиска потенциально опасных объектов.

Неразгаданная тайна Луны

В. В. ШЕВЧЕНКО,
доктор физико-математических наук

Одна из нерешенных и весьма интригующих проблем природы Луны – происхождение диффузных структур (альбедных аномалий), связанных с наиболее крупными лунными магнитными пятнами. Диффузные структуры представляют собой весьма молодые образования, возраст которых около 10^7 лет. Согласно одной из моделей, диффузные структуры и сопутствующие им магнитные аномалии возникли в результате падения на Луну комет. Другая модель рассматривает их происхождение в антиподных областях (расположены на противоположных полушариях Луны). При падении небесных тел примерно 4×10^9 лет назад эти структуры образовали крупные бассейны. В последние годы следы возможных падений комет на Луну исследовались специалистами ГАИШ.



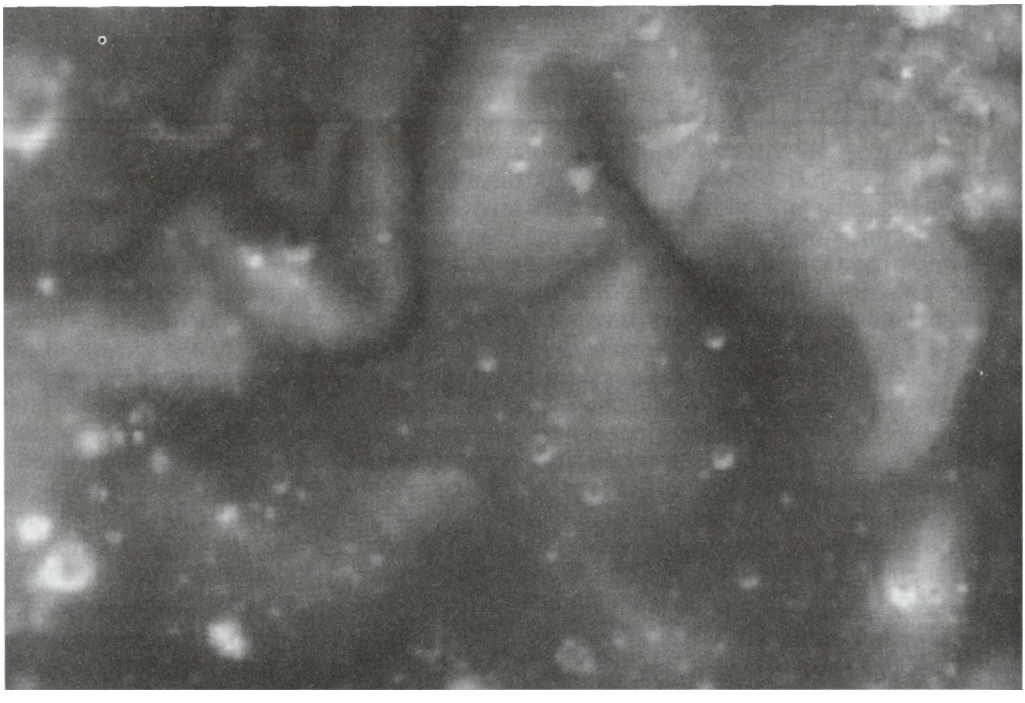
АЛЬБЕДНЫЕ АНОМАЛИИ НА ЛУНЕ

Альбедные аномалии представляют собой уникальные образования с нехарактерной формой ландшафта. По своим очертаниям они близки к вихревым или турбулентным структурам в газовых средах. Эти названия произошли от английских слов *swirl* или *swirls*, что означает "воронки на воде" или "клубы дыма". На безводной и лишенной атмосферы Луне диффузные структуры выглядят экзотическими. Они не имеют собственного рельефа, внешне похожи на тонкий слой материала, покрывающего лунную поверхность, и отличаются более высокой отражательной способностью (альбедо), чем окружающий рельеф.

Подобные образования обнаружены на морских и материковых ландшафтах в пределах видимого и обратного полушарий.

Долгое время дистанционному изучению была доступна только одна диффузная структура – **Рейнер-γ**, находящаяся на видимом полушарии. Комплексный анализ природы и предварительная оценка возраста этого образования на основе результатов наземных наблюдений и первых изображений, полученных из космоса, сделаны в ГАИШ МГУ. Наибольшая отражательная способность деталей Рейнер-γ достигает 13%, что примерно в два раза превышает альбедо окружающей поверхности морского типа. По результатам совместного анализа фотометрических, спек-

© Шевченко В.В.

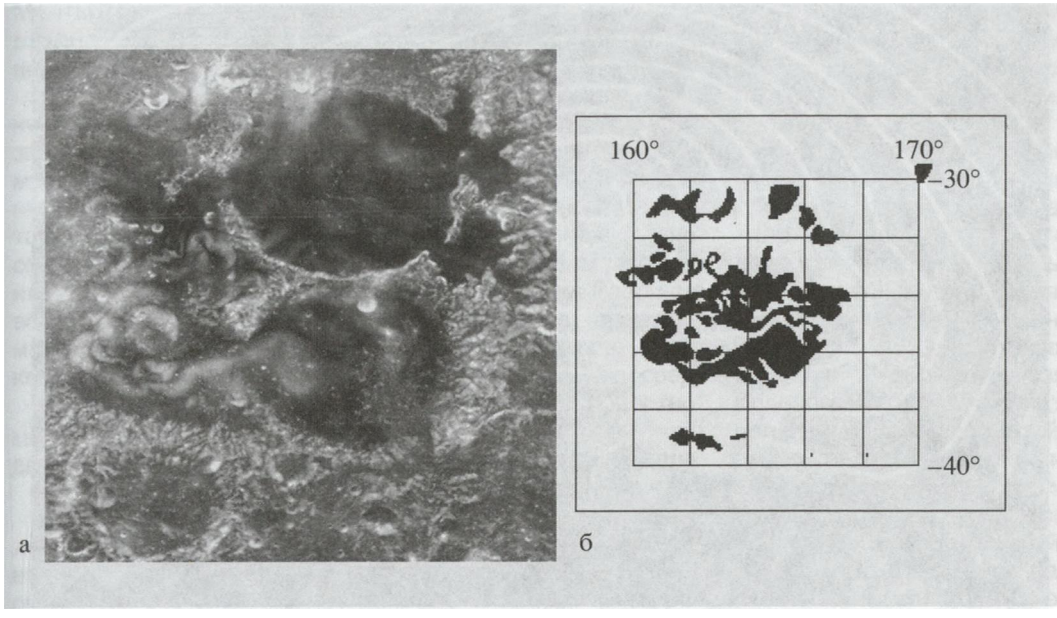


Фрагмент диффузной структуры в Море Мечты. Снимок получен АМС "Клементина" в 1994 г. NASA.

тральных и поляриметрических данных, динамики изменения суточных и затменных температур поверхности удалось установить, что по минералогическому составу вещество диффузной структуры существенно не отличается от подстилающих пород. То же самое подтверждено в результате радиолокационных наблюдений в сантиметровом диапазоне. Аномальные оптические свойства образования, скорее всего, вызваны механическим изменением структуры поверхностного слоя каким-то внешним воздействием, приведшим к образованию гладкой поверхности, нетипичной для поверхности лунного реголита. Весьма показательно, что отражающая характеристика поверхности связана с заметной зеркальной составляющей рассеяния пород, имеющих высокую степень сглаженности. Как известно, закон лунного рассеяния показывает полное отражение падающего света в сторону источника света, характерного для интенсивно изрытых, сильно шероховатых поверхностей.

При оценке размеров частиц в поверхностном слое грунта оказалось, что тонкая фракция отражающего слоя диффузной структуры в 5–6 раз превышает частицы тонкой фракции окружающей поверхности. Это интерпретируется как признак распространения в пределах образования Рейнер-γ крупнозернистых *незрелых* грунтов, что, в свою очередь, соответствует сравнительно молодому возрасту формации. Более поздний анализ показал, что возраст образования Рейнер-γ составляет не более 10^7 лет.

Специалисты ГАИШ и Обсерватории Миди-Пиренеи (г. Тулуза, Франция) провели комплексные исследования формации Рейнер-γ. Они основаны на результатах наземных и космических наблюдений (например, спектральная съемка в феврале – мае 1994 г., выполненная АМС "Клементина"; Земля и Вселенная, 1997, № 5). Эти данные подтвердили важные положения о природе диффузной структуры, изложенные выше, уточнив отдельные конкретные характеристики. Спектральные свойства поверхностного слоя однозначно соответствуют незрелому грунту, по химическому составу близкому к морским базальтам. Содержание железа в этих поро-



Скопление диффузных структур в Море Мечты: а) четко выделяются фрагменты альбедных аномалий (снимок получен АМС "Клементина" в 1994 г.), б) карта идентификации отдельных фрагментов общей структуры, составленная по снимку АМС "Клементина".

дах составляет 13.5–14.5%. Степень *зрелости* (степень переработки лунного вещества в результате падения микрометеоритов солнечным облучением) морского реголита такая же, как у подповерхностного слоя на глубине 0.3–0.8 м.

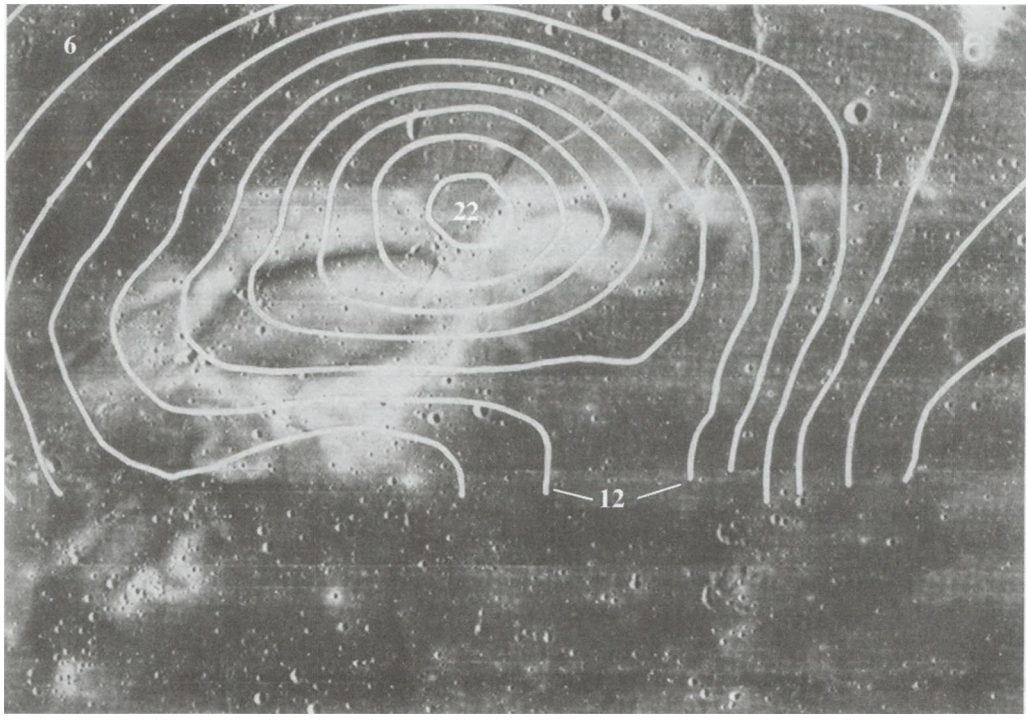
Глобальная съемка поверхности Луны выявила обширные области распространения диффузных структур на ее обратной стороне. Наиболее крупные скопления фрагментов диффузных структур, по-видимому связанных между собой общим происхождением, обнаружены в области Моря Краевого и Моря Мечты.

Исследования физических свойств и минералогического состава поверхностного слоя диффузных структур обратной стороны по результатам спектральной съемки АМС "Клементина" показали их полную идентичность соответствующим свойствам образования Рейнер-γ. Это указывает на полное сходство природы и происхождения этих формаций.

Характерные формы альбедных аномалий позволяют уверенно дешифрировать их распространение на лунной поверхности, различая эти образования и схожие по альбедо объекты, такие, например,

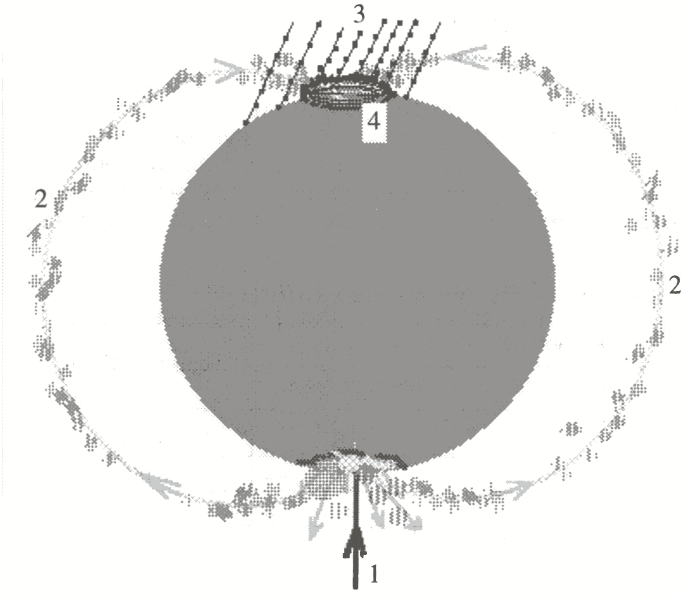
ОСНОВНЫЕ ОБЛАСТИ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИФФУЗНЫХ СТРУКТУР

Лунные образования	Селенографические координаты		Площадь, 10^3 км^2
	Долгота, град.	Широта, град.	
Море Краевое (Mare Marginis)	+98	+15	73870
Море Мечты (Mare Ingenii)	+170	–34	50155
Кратер Уолкер (crater Walker)	–165	–25	11246
Кратер Герасимович (Gerasimovich)	–123	–23	7365
Рейнер-γ (Reiner-γ)	–59	+7	3342



Диффузная структура Рейнер-γ. Снимок получен АМС "Лунар Орбитер-4" (1966). Альбедные аномалии совпадают с магнитными. Изолинии магнитного поля (в нТ) соответствуют его напряженности на высоте около 20 км над лунной поверхностью. Характеристики этой магнитной аномалии определены по результатам измерений приборами субспутников КК "Аполлон" в 1971–1972 гг. NASA.

как светлые кратерные лучи и их фрагменты. Наиболее крупные концентрации диффузных структур находятся в области Моря Краевого и прилегающего с востока материкового района, а также в районе Моря



Возникновение диффузной структуры и сопутствующей ей магнитной аномалии, согласно гипотезе Л. Худа: 1 – падение крупного тела с образованием кольцевой структуры (бассейна круглого моря), 2 – распространение ударно-взрывного облака от места выброса до антиподной точки, 3 – солнечный ветер, 4 – область магнитного поля и формирования альбедной аномалии.

Мечты и материкового района, расположенного восточнее.

Расположение и суммарные площади светлых образований для каждого из мест концентраций диффузных структур приведены в таблице. Их общая площадь составляет 1.46×10^5 км^2, или 1/250 всей лунной поверхности, что не так уж мало для образований резко аномальной природы.

МОДЕЛИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДИФФУЗНЫХ СТРУКТУР

Природа локального *палеомагнетизма* Луны остается необъясненной, несмотря на большой объем магнитометрической информации, полученной в последнее время. Местоположение наиболее крупных магнитных аномалий совпадает с альбедными аномалиями. Комплексная проблема природы этих особенностей лунной среды становится особенно интересной и актуальной.

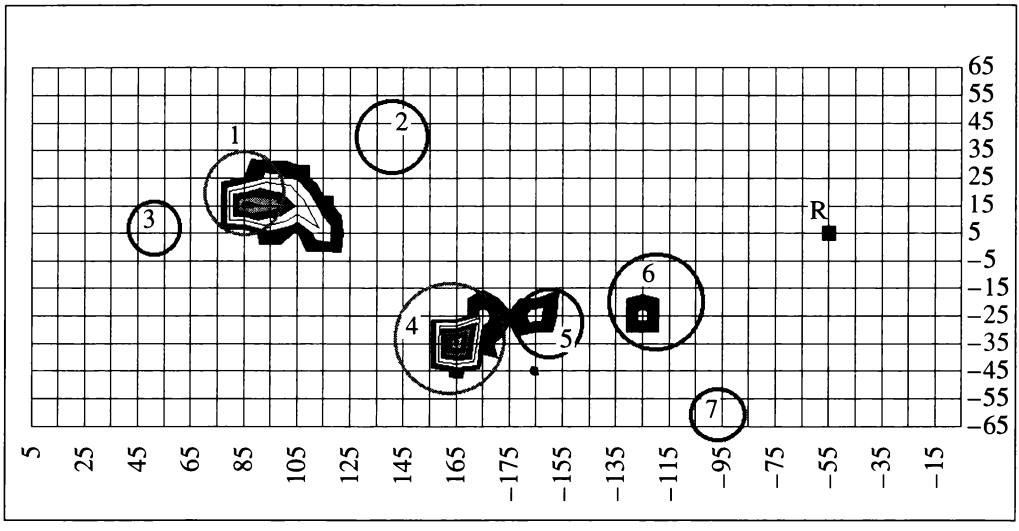
Глобальная магнитная съемка, выполненная с высоким разрешением американской АМС "Лунар Проспектор" в 1998–1999 гг. (Земля и Вселенная, 1998, № 3; 2001, № 1), полностью подтвердила, что локальное магнитное поле достаточно высокой напряженности неизменно наблюдается в местах концентрации диффузных структур. Исходя из совпадения местоположения альбедных и палеомагнитных аномалий, можно строить модели их совместного (или даже одновременного) происхождения.

Сочетание альбедных аномалий с интенсивным локальным магнитным полем и геоморфологические характеристики самих объектов не укладываются в модели традиционного эндогенного происхождения, описывающие, например, дегазацию подповерхностных слоев. Поэтому наиболее часто модели происхождения альбедных аномалий построены на их ударной природе. Различия заключаются в существе ударных процессов: либо это выбросы непосредственно с лунной поверхности (вторичный удар), либо падение космического тела.

Одной из первых возникла гипотеза возникновения диффузных структур вследствие *падения на лунную поверхность комет*. Известный американский исследователь физики планет Т. Голд в 1976 г. подробно рассмотрел процесс образования магнитной аномалии в результате ударного взаимодействия с лунной поверхностью кометы при высоких скоростях (до 40 км/с) и в присутствии солнечного ветра. Позднее другие исследователи, включая автора этой статьи, связали кометные удары непосредственно с наблюдаемыми на поверхности Луны диффузными структурами. Спектральные исследования подтвердили, что структура Рейнер-γ не продукт вторичного удара при выбросах из какого-либо ближайшего кратера, а представляет собой, подобно другим диффузным структурам, следы недавних падений на Луну кометных тел. Механические свойства поверхностного слоя диффузных структур, высокое альбедо и необычные формы объясняются уплотняющим воздействием на грунт при ударе газопылевой комы, в которой интенсивно действуют, как теперь хорошо известно, струйные течения, выбросы джетов.

Вместе с тем некоторые исследователи выдвинули другую гипотезу. Они обратили внимание на то, что наиболее крупные локальные магнитные поля и связанные с ними центры концентрации диффузных структур в области Моря Краевого и Моря Мечты располагаются примерно в районах, антиподных таким значительным кольцевым структурам Луны, как Море Восточное и Море Дождей. Это обстоятельство вызвало к жизни гипотезу, которую условно можно назвать *"моделью антиподности"*. Наиболее подробно об этой модели рассказано в работах авторов магнитометрического эксперимента на АМС "Лунар Проспектор". Согласно модели, ударно-взрывное газопылевое облако огибает Луну и концентрируется в виде выбросов в антиподной точке. Высокоскоростное падение ионизованного вещества выбросов в присутствии солнечного ветра обеспечивает локальную намагниченность верхней части коры, создавая магнитную аномалию, по представлению американского планетолога Л. Худа с соавторами. В этой части рассматриваемая модель принципиально повторяет схему, предложенную Т. Голдом для случая падения кометы.

Появление диффузной структуры объясняется локальным магнитным полем, создающим местную защиту грунта лунной поверхности от бомбардировки его ионами солнечного ветра. В этом



Карта распространения альбедных аномалий на Луне и их положение относительно областей, антиподных бассейнам видимой стороны. Сетка соответствует селенографическим долготам и широтам. Обозначены антиподные области образований: 1 – Море Восточное, 2 – Море Влажности, 3 – бассейн Герцшпрунг, 4 – Море Дождей, 5 – Море Ясности, 6 – Море Кризисов, 7 – Море Гумбольдта, R – Рейнер-γ.

случае механизм потемнения лунного вещества в процессе космического выветривания не действует, и на поверхности постепенно формируются области с повышенным по сравнению с окружающим фоном альбедо, повторяющие контуры образованного местного магнитного поля.

ОБСУЖДЕНИЕ ДВУХ МОДЕЛЕЙ

Простота схемы формирования локального магнитного поля и одновременного изменения поверхностного слоя с повышенной отражательной способностью делает кометную модель наиболее предпочтительной. Напротив, модель антиподности включает в себя несколько весьма строгих ограничений, обеспечивающих возможность функционирования предложенного механизма. Одним из первых подобные трудности подметил американский ученый М. Фуллер (1987). Он обратил внимание на ключевой аспект модели – процесс обтекания ударно-взрывным облаком всей Луны, который может не соответствовать необходимым временным рамкам процесса образования намагниченного слоя коры в области, антиподной точке удара. Согласно рассматриваемой модели, плазменные токи достигают антиподной области примерно за 5 мин, что быстрее распространения сейсмических волн в недрах Луны (около 8 мин) и поверхностных сейсмических волн (около 80 мин). Однако время движения выбросов из точки удара по баллистической траектории должно составлять 20–50 мин. В этом случае достигшие антиподной области продукты выбросов могут утратить свойства, необходимые для обеспечения при прочих условиях наблюдаемой магнитной аномалии. Кроме того, М. Фуллер обнаружил существование магнитных аномалий в местах, не связанных с положением, антиподным крупным кольцевым ударным структурам.

Серьезная трудность модели антиподности связана с положением о фактически одновременном образовании местного магнитного поля и альбедной аномалии. Прежде всего, в гипотезе Л. Худа не совпадают возраст формирования местных магнитных полей и альбедных аномалий. Согласно его сценарию, магнитные поля возникли практически одновременно с падением (ударом) тел на лунную поверхность. По современным оценкам, бассейны Моря Восточное и Моря Дождей сформировались 3.80–

3.85×10^9 лет назад. Оценки возраста поверхности диффузных структур на основании различных данных не превышают 10^7 лет. Все исследователи отмечают весьма низкую степень зрелости грунта в пределах Рейнер-γ и других диффузных структур. Подобные различия в датировке рассматриваемых событий указывают, что альбедные аномалии сформировались совсем в другую эпоху, существенно расходящуюся по времени с образованием даже самых молодых лунных бассейнов.

Механизм сохранения участков с более высоким альбедо под "зонтиком" локального магнитного поля, описанный в гипотезе Л. Худа, содержит ряд противоречий. Поскольку поток протонов солнечного ветра – сильно восстанавливающий агент, окислы кремния и металлов, входящие в минералогический состав лунного грунта, претерпевают частичное восстановление, приводящее к их потемнению. Можно предположить, что частичная защита от облучения ионами водорода с энергией солнечного ветра каких-либо участков лунного грунта в той или иной степени замедляет процесс их потемнения, выделяя эти площадки как образования с более высоким альбедо. Следует заметить, что проникновение данного процесса в грунт ограничивается весьма тонкой пленкой, сравнимой по толщине с размером частиц (микроны). В идеальном случае, когда действует только один из указанных процессов, время насыщения составит 10^5 лет, по истечении этого времени разница в альбедо потемневших и "сохранившихся" участков грунта уже не изменится.

В процессе космического выветривания лунная поверхность претерпевает воздействие и более агрессивных процессов. Если учесть влияние микрометеоритной бомбардировки, то за указанное время формирования разницы в альбедо "защищенных" и "открытых" участков все они подвергнутся механическому перемешиванию на глубину около 1 см. Очевидно, что в этом случае всякое различие в отражательной способности, построенное на тонких эффектах, будет уничтожено, и альбедные аномалии не смогут сохраниться в наблюдаемом виде.

Трудно представить, что первоначальное альбедо свежевыплавленных пород (10–13%), сохраненное, согласно гипотезе Л. Худа, в альбедных аномалиях, примерно в два раза превышало альбедо морских базальтов только за счет их радиационного потемнения. Несмотря на все перечисленные несоответствия, исходное положение гипотезы Л. Худа – антиподность крупнейших аномалий молодым бассейнам видимой стороны Луны, возможно, имеет какое-то основание. Однако не прослеживается распространение диффузных структур на областях, антиподных наиболее крупным бассейнам видимой стороны Луны.

ВОЗРАСТ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ЛУНЫ

Наблюдаемое пятнистое магнитное поле Луны обязано своим происхождением, вероятно, сочетанию различных процессов, протекавших в разные эпохи ее эволюции. Например, среди доставленных на Землю образцов лунных пород обнаружились фрагменты со значительной намагниченностью. Большинство из них обладает абсолютным возрастом $3.6–3.8 \times 10^9$ лет. В связи с этим многие авторы не исключают действие *динамомеханизма* как источника возникновения магнитного поля на ранних стадиях формирования Луны. Некоторые ученые находили корреляцию многих магнитных аномалий с местами интенсивных выбросов в окружении крупных бассейнов Луны. Появление локальных полей связывают с формированием данных структур около 4×10^9 лет назад. Остатки местных магнитных полей, по-видимому, различного происхождения квалифицируются в настоящее время как палеомагнетизм Луны.

Однако магнитные аномалии, связанные с диффузными структурами, возможно очень молодыми, не имеют никакого отношения к палеомагнитным полям Луны.

Решение описанной проблемы представляет собой существенное космогоническое значение, поскольку напрямую касается происхождения планетного магнетизма. Другой аспект этой проблемы – процесс падения комет на поверхность планет – также имеет космогоническое значение. Вместе с тем природа существования альбедных и магнитных аномалий на Луне до сих пор остается загадочной.

Необычные объекты Солнечной системы

В. С. УРАЛЬСКАЯ,
кандидат физико-математических наук

Полеты АМС к планетам Солнечной системы открывают нам удивительные миры спутников планет. Поражает разнообразие их природы. Некоторые объекты совершенно необычны по физическим свойствам и характеристикам движения. Это обусловлено, прежде всего, механизмом образования небесного тела. Кроме того, вероятны катастрофические столкновения, которые изменяют системы спутников на более поздней стадии формирования Солнечной системы. Значительную роль играют

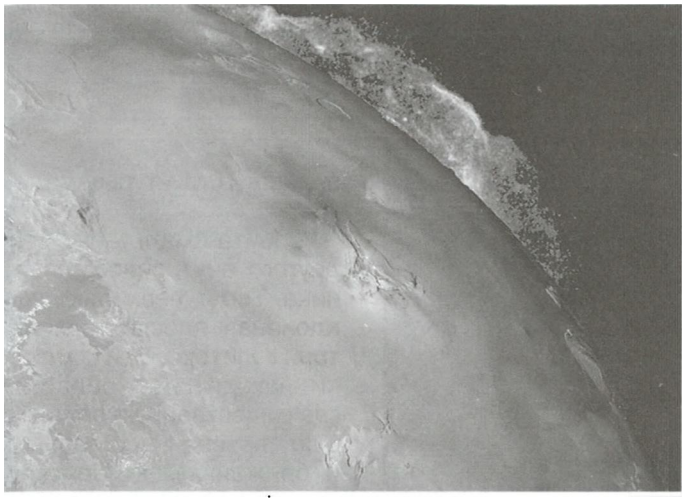
приливные взаимодействия между планетой и спутниками. Резонансы в движении спутников (Земля и Вселенная, 2003, № 5) – также важный фактор.

Отдел небесной механики ГАИШ изучает динамику спутников, их природу, происхождение и прогнозирует поведение в будущем, используя наблюдения за длительное время (с момента открытия спутников до сегодняшнего дня), в том числе и данные АМС. Сотрудники Отдела разрабатывают новые самые точные теории движения этих небесных тел и реализуют уже имеющиеся в мире. Однако многие тайны образования и эволюции спутников еще остаются неразгаданными.

ПРИЛИВНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИО И ЮПИТЕРА

Юпитер и **Ио** представляют собой уникальную систему. Ио – вулканически активный спутник, а Юпитер – самое большое небесное тело в Солнечной системе по размеру и массе. У него сильнейшее электромагнитное поле, наибольшие скорость вращения и объем магнитосферы. Ио активно взаимодействует с магнитосферой Юпитера и вместе с ним составляет природный электрический генератор. Спутник влияет на планету, поставляя тяже-

© Уральская В.С.



Извержение вулкана Пеле на спутнике Юпитера Ио. Вулканический выброс поднимается на высоту 200 км. Фото АМС "Вояджер-1", 2003 г. (NASA/USGS).

лые ионы в его магнитосферу, а приливные силы от Юпитера и других галилеевых спутников разогревают недра Ио, вызывая на ней вулканическую деятельность. Активность спутника была предсказана еще до полета АМС "Вояджер-1 и -2" к системе Юпитера по отклонениям в его движении. Таким образом, изучение движения и возмущений орбиты Ио сыграло основную роль в понимании ее вулканизма и внутреннего тепла.

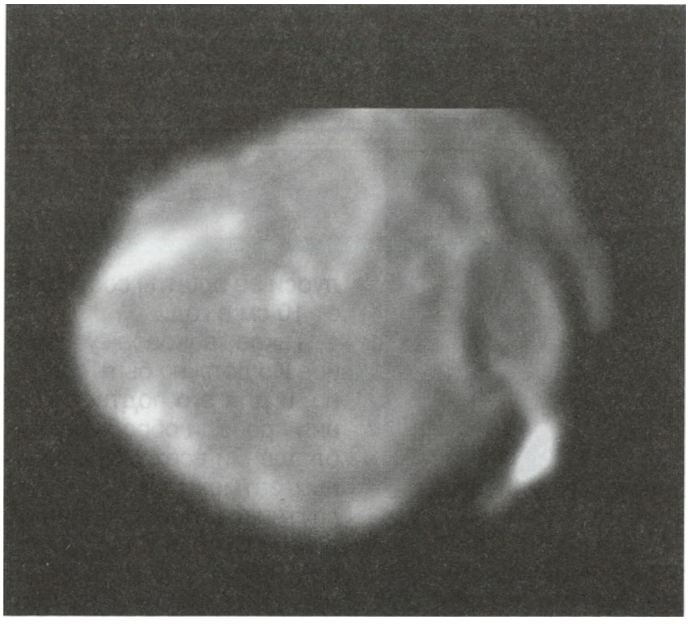
Юпитер своим гравитационным полем создал два приливных выступа на поверхности спутника, которые затормозили вращение Ио, так что она попала в синхронное вращение с Юпитером, то есть всегда обращена к Юпитеру одной стороной. Поскольку орбита Ио имеет значительный эксцентриситет, а вращение все же немного отличается от синхронного вследствие возмущений от других галилеевых спутников, то выступы слегка перемещаются по ее поверхности. Это приводит к разогреву недр и образованию жидкого ядра спутника. Огромные выбросы тепла, связанные с вулканической активностью, – продукт сильной приливной диссипации внутри Ио.

Неожиданным оказалось вековое ускорение Ио. Согласно теории приливной эволюции, спутник должен удаляться от планеты, поскольку Юпитер вращается быстрее, чем спутник по своей орбите. Однако было обнаружено, что Ио не только не удаляется, а *приближается* своей планете. Есть только одно объяснение этому явлению. Ио при диссипации теряет орбитальной энергии больше, чем получает от орбитальных приливов Юпитера. Из наблюдений взаимных затмений в системе галилеевых спутников было определено значение относительного векового ускорения Ио. Уменьшение большой полуоси ее орбиты составляет 10 см в год.

Такое вековое ускорение Ио должно быть заметно, и для его подтверждения провели обработку наблюдений всех 520 взаимных затмений и покрытий спутников, происходивших в 1908 г., 1914 г. и с 1973 г. по 1997 г. Уточнить средние движения и их скорости изменения для всех галилеевых спутников невозможно из-за сильной корреляции этих величин, однако для Ио они определяются точно и согласуются с ранее определенными значениями. Установлено, что Ио медленно приближается к Юпитеру.

АМАЛЬТЕЯ – АСТЕРОИД С-ТИПА?

Захват спутника на далекую внешнюю орбиту, по-видимому, характерное явление в эволюции планетных систем. Однако совершенно необычным оказался пятый спутник Юпитера – **Амальтея**, который находится ближе к планете, чем галилеевы спутники. Наблюдения Амальтеи, полученные при сближении АМС "Галилео" со спутником в 2002 г., позволили вычислить массу Амальтеи. Размер небесного тела был определен по его фотоизображениям. Плотность оказалась рав-



Изображение Амальтеи, полученное АМС "Галилео" в 1999 г. (NASA).

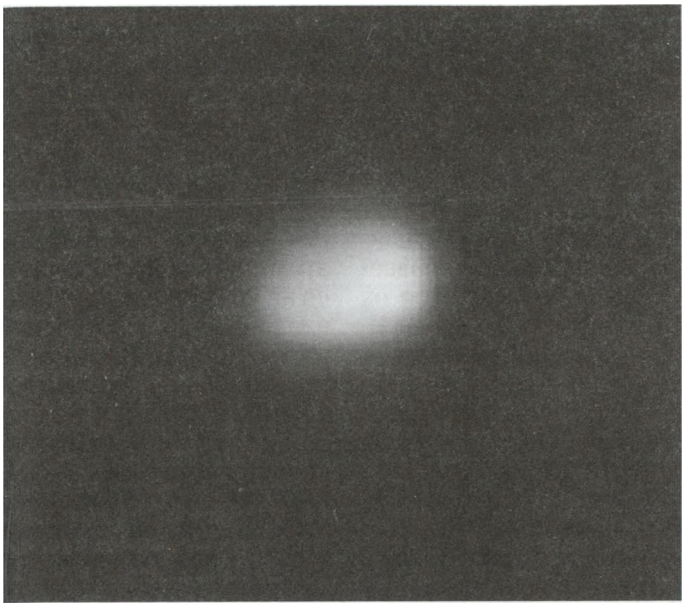
ной 0.857 г/см^3. Это много меньше, чем предполагали (3.8 г/см^3). Если исходить из того, что Амальтея формировалась на современном расстоянии от Юпитера из облака прото-Юпитера, то такая плотность соответствовала бы смеси камня и металла. Полученное значение плотности Амальтеи, как видим, даже меньше плотности воды. Таким образом выяснилось, что спутник состоит из водяного льда и пористых камней и, возможно, формировался в холодной области Солнечной системы, а не вблизи Юпитера. Низкая плотность, маленький размер сравнительно с галилеевыми спутниками Юпитера позволяют предположить, что Амальтея – захваченный астероид С-типа. К этому же типу принадлежит еще более плотный пористый астероид Главного пояса Матильда, который сложен из камня (65%), графита (1%) и водяного льда (34%).

Фотографии показывают, что Амальтея очень неправильной формы. Это не трехосный эллипсоид и не тело равновесия, а, скорее всего, эллипсоид с большими полуосями 131 × 73 × × 67 км. Комбинируя гравитационные и топографические данные, можно получить некоторую информацию о внутреннем строении Амальтеи. Если гравитационные коэффициенты согласуются с вычисленными из топографических измерений, то можно предположить однородную структуру спутника. С другой стороны, если гравитационные коэффициенты меньше, чем предсказанные из топографии, то вещество концентрируется к центру. Пока не существует таких данных о неоднородности структуры Амальтеи.

Орбита Амальтеи, как и другого внутреннего спутника, **Тебы**, несколько наклонена к плоскости экватора Юпитера. Эти спутники находятся в области, где существенную роль играют резонансы с первым и ближайшим к Юпитеру галилеевым спутником – Ио. Во время прохождения через резонансы средних движений (360°/P, где P – период обращения) сильно изменяются эксцентриситеты и наклоны орбит. Эксцентриситеты орбит быстро восстанавливаются под влиянием сильных приливов от Юпитера. Однако измененные наклоны имеют тенденцию к сохранению. Если Ио образовалась в интервале от 4.02 до 4.92 радиуса Юпитера, то прохождение Амальтеи через резонанс 3 : 1 с Ио могло вызвать изменение наклона орбиты Амальтеи до современного значения 0.3°.

МАЛЫЕ СПУТНИКИ САТУРНА

Система Сатурна – единственная, где имеются *лагранжевы*, или *либрационные,* спутники. Они располагаются в устойчивых точках Лагранжа, то есть на орбите главного спутника, но опережают его в своем движении по орбите или отстают примерно на 60° по долготе. Так, крупный спутник **Те-**

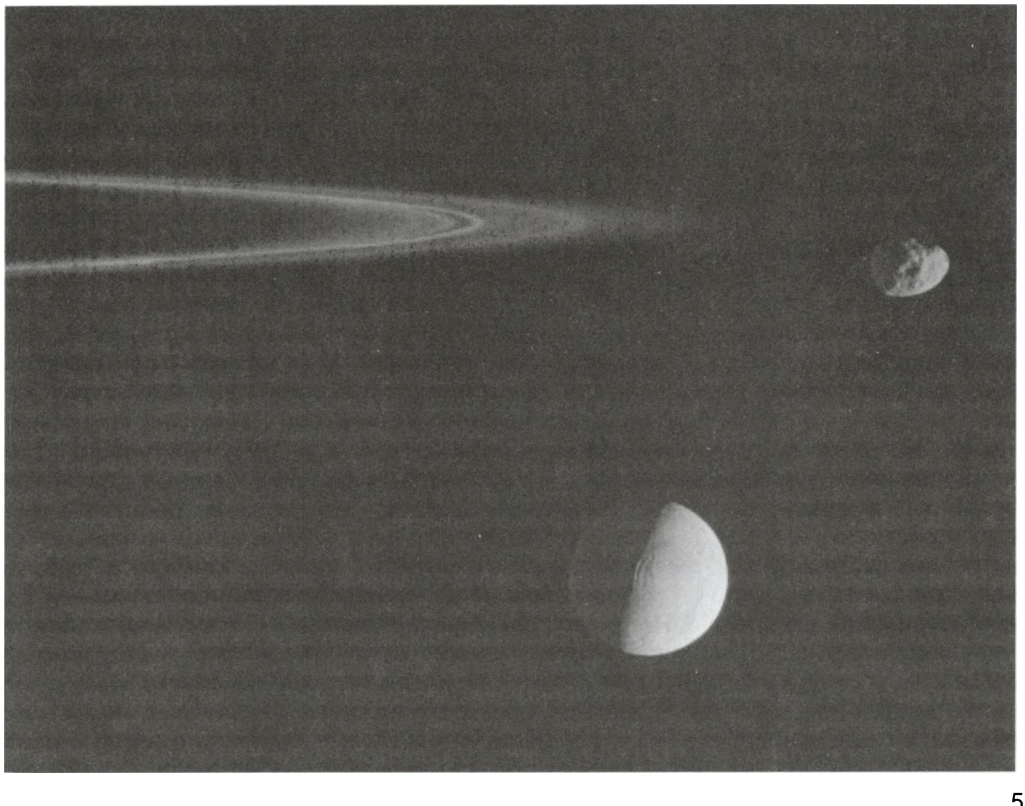


Новый спутник Сатурна Полидевк, открытый в 2004 г. АМС "Кассини". Он движется по одной орбите с Дионой. Фото АМС "Кассини", 2006 г. (NASA).

спутника Сатурна, **Дионы** (1120 км), был известен только один либрационный спутник – Елена (32 км), который открыт еще в 1980 г. вблизи точки Лагранжа L4 впереди Дионы. Елена совершает либрационные вариации вокруг лагранжевой точки L4 с периодом 785 сут. Предполагалось, что сущест-

фия (1060 км) имеет два малых спутника – **Калипсо** (19 км) и **Телесто** (22 км), которые совершают либрации около точек Лагранжа L4 и L5 орбиты Тефии соответственно. Интересно, что на орбите другого

Спутники Сатурна Энцелад и Янус (справа) у внешнего края кольца F. Фото АМС "Кассини", 2006 г. (NASA).



вует спутник и в другой точке либрации. Им оказался **Полидевк** (S/2004 S5) размером всего 3 км, который был обнаружен только в 2004 г. с помощью АМС "Кассини". Он движется по одной орбите с Дионой, большая полуось которой составляет 377 400 км. Она почти круговая и лежит в плоскости экватора планеты. Полидевк совершает либрацию вокруг точки Лагранжа L5 с периодом 791.3 сут и амплитудой порядка 20°.

Могут ли другие крупные спутники Сатурна иметь лагранжевы спутники? Численное интегрирование уравнений движения частицы, изначально находящейся вблизи точек либрации **Мимаса** (397 км), выявило неустойчивость для всех частиц, соорбитальных с ним. С другой стороны, на орбите **Энцелада** (499 км) существует долговременная устойчивость тел в точках Лагранжа. Частицы с малыми начальными амплитудами либрации остаются стабильными в течение 10^7 орбитальных периодов. Поэтому АМС "Кассини" может обнаружить спутники на одной орбите с Энцеладом, и нет шансов найти соорбитальные спутники Мимаса.

АМС "Кассини" получила изображения, данные об орбитах и физических характеристиках малых внутренних спутников, расположенных в области колец Сатурна. Как известно, с внешней стороны кольца А находятся две узкие щели, каждая из которых связана с малыми спутниками. На расстоянии 133600 км от центра Сатурна находится щель **Энке**, образованная спутником **Пан** (20 км), а щель Килера постоянно поддерживается открытым в 2005 г. малым спутником **S/2005 S1**, получившим предварительное название *Дафнис*. Несмотря на некоторое видимое сходство, эти образования в кольце имеют существенные различия. Края щели Энке – волнистые по всем долготам (от 0 до 360°), причем длина волны связана с Паном. Никаких спутников, кроме Пана, в щели Энке не найдено, хотя множественные устойчивые яркие образования удивительны.

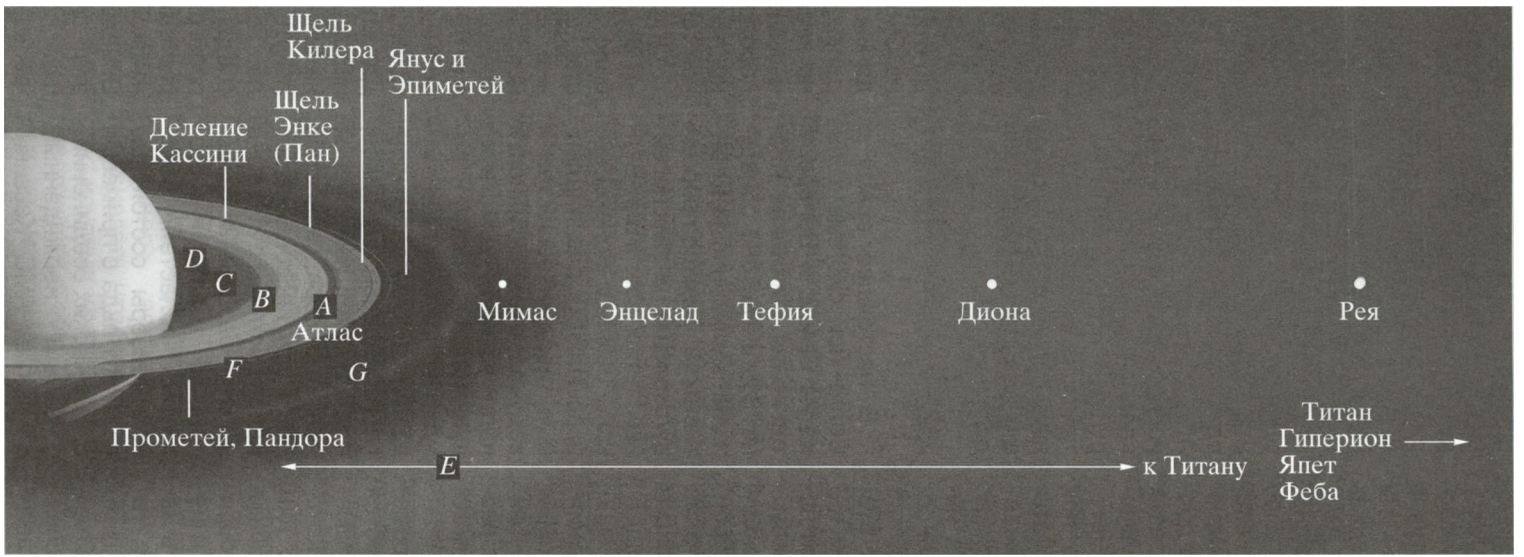
Щель Килера примерно в 8 раз у́же. Из-за меньшего размера образующего ее спутника S/2005 S1 волны быстро затухают по мере удаления от спутника, хотя и имеют такую же или даже бóльшую амплитуду, чем в щели Энке. Изменения на внутренней границе щели Килера связаны с Прометеем, который вызывает волну с амплитудой 16 км. Это приводит к изменению полной ширины щели Килера почти на 50%, от 32 до 47 км. В других известных кольцевых системах подобных явлений не наблюдается.

ПРОМЕТЕЙ, ПАНДОРА И КОЛЬЦО F САТУРНА

Прометей (100 км) и **Пандора** (184 км) открыты при пролете АМС "Вояджер-1 и -2" в 1980–1981 гг. В течение 15 лет эти спутники не были видны, так как они находятся вблизи яркого кольца и их наблюдения с Земли даже с помощью больших телескопов затруднительны. Неожиданным оказалось то, что по наблюдениям Прометея и Пандоры, проведенным в 1995 г., долготы этих спутников отличаются на 20° от эфемерид, вычисленных на основании данных с АМС "Вояджер". Наблюдения в последующие годы с Космического телескопа им. Хаббла показали внезапное изменение среднего движения этих спутников в конце 2000 г. Среднее движение Прометея изменяется произвольно в интервале 1.8 град/год, а для Пандоры область изменений среднего движения составляет 3.1 град/год.

Такое поведение спутников вызывается хаотическим взаимодействием между этими двумя лунами. Изменение средних движений определяется четырьмя резонансами, а также сильными возмущениями при сближениях, которые происходят каждые 6.2 года. Кроме взаимных возмущений, на движение этих спутников оказывает влияние **кольцо F**, масса которого соответствует спутнику размером от 15 до 70 км. Оно может изменять конфигурацию сближений между спутниками. Также на орбиту Пандоры оказывают влияние близость Мимаса и резонанс их средних движений 3 : 2.

Эксцентрическое кольцо F, находящееся на расстоянии 140 210 км от центра Сатурна, имеет особенности в виде перепле-



Расположение колец и близких спутников Сатурна. От поверхности Сатурна кольца располагаются в следующем порядке: D, C, B, A, F, G и E. Щель Кассини разделяет кольца B и A. Щель Энке внутри кольца A образована спутником Пан. Узкое эксцентрическое кольцо F удерживается спутниками-пастухами Прометей и Пандора. Широкое слабое пылевое кольцо E протянулось от орбиты Мимаса до орбиты Титана (NASA/JPL).

тений, сгустков и узлов. Оно является динамически активной зоной, возможно из-за близости своих спутников-пастухов Прометея и Пандоры. На некоторых изображениях кольца F, полученных АМС "Вояджер-1 и -2", видны, по крайней мере, четыре разделенные непересекающиеся арки, занимающие примерно 45° по долготе. Исследование таких образований, возмущаемых лишь одним Прометеем, показывает, что при некоторых условиях материал кольца начинает группироваться в определенных азимутальных направлениях, формируя области, имеющие сходство с арками. Они будут стабильными на больших интервалах времени при наличии резонанса с возмущающим телом, находящимся на вытянутой орбите. Вне резонанса такие арки будут в конце концов разрушаться при воздействии тела в точке максимального сближения. Из-за влияния второго возмущающего тела – Пандоры – также может разрушиться устойчивость подобных образований.

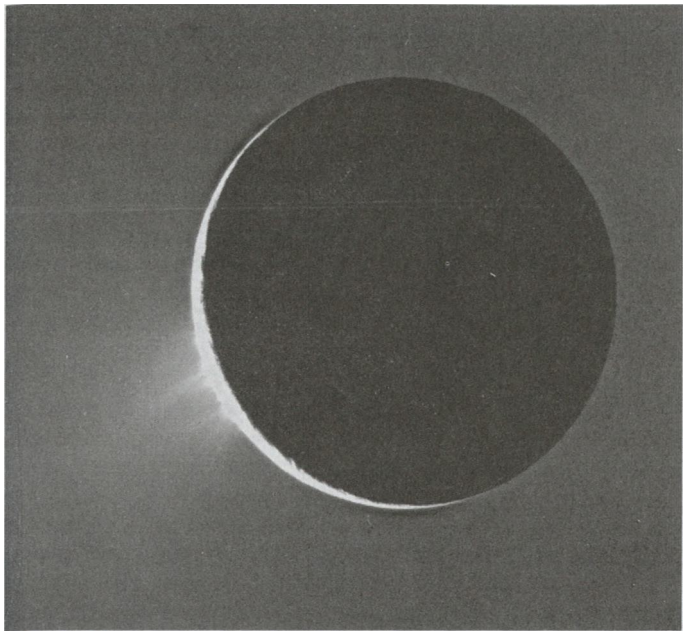
Возмущения от Прометея сильно сказываются на кольце F (Земля и Вселенная, 2005, № 5), которое располагается с ним рядом. Эти возмущения достаточны, чтобы образовать щель в кольце и выбросить его частицы в направлении к спутнику. Такое взаимодействие между кольцом и Прометеем было обнаружено на снимках, переданных с "Кассини", в виде некоторого шлейфа частиц, протянувшегося от кольца к спутнику. Прометей приближается и отступает от кольца F каждые 14.7 ч. Как только Прометей отступает от кольца F, он вытягивает материал кольца; через один орбитальный период эта затронутая область сдвигается, и на снимках с АМС "Кассини" получается изображение, похожее на канал. Периодическое разрушение кольца F Прометеем станет более заметным после 2009 г., когда эти две орбиты сблизятся до минимума.

ИЗВЕРЖЕНИЯ НА ЭНЦЕЛАДЕ

В настоящее время в Солнечной системе только на Земле и Венере, а также на спутниках планет Ио и Тритоне обнаружена вулканическая активность. Однако природа вулканизма на этих небесных телах различна. Вулканы Земли и Венеры выбрасывают расплавленные твердые вещества и воду за счет активности недр планет. Действующие вулканы на Ио – результат приливных возмущений от Юпитера и других галилеевых спутников, а продуктами извержений являются сера, сернистый газ и другие соединения. Криовулканизм Тритона вызван сезонными изменениями температур различных областей, ледяные гейзеры состоят из азотного льда с примесью органических соединений.

Самым неожиданным открытием АМС "Кассини" оказались извержения на Энцеладе. Это тем более загадочно, поскольку находящийся рядом Мимас – мертвое тело. Жидкая вода существует на Энцеладе (Земля и Вселенная, 2006, № 4) в подповерхностном океане на глубине всего несколько десятков метров, при извержениях она вырывается на поверхность в виде гейзеров и образует довольно плотную атмосферу. Температура воды выше нуля, а на поверхности около –200°С. Оказалось, что система Сатурна очень богата атомами кислорода. Их происхождение было загадкой до открытия жидкой воды на Энцеладе. Выброс водяных молекул приводит в дальнейшем к их распаду на кислород и водород и насыщению системы кислородом. Пока неизвестно, чем вызвано внутреннее тепло Энцелада.

Открытие жидкой воды на Энцеладе вновь поставило вопрос о возможности обнаружения жизни вне Земли. Водный океан находится и под ледяной поверхностью Европы, но, в отличие от Энцелада, на большой глубине, под километровой толщей льда. Для возникновения жизни необходимы три условия: наличие органических молекул, жидкой воды и тепла. Так как органические соединения широко распространены в Солнечной системе, а существование жидкой воды и тепла на Энцеладе доказано, то этот спутник имеет большой потенциал для возникновения экзобиологии.



Выброс жидкой воды с поверхности Энцелада в области Южного полюса. Фото АМС "Кассини" (NASA).

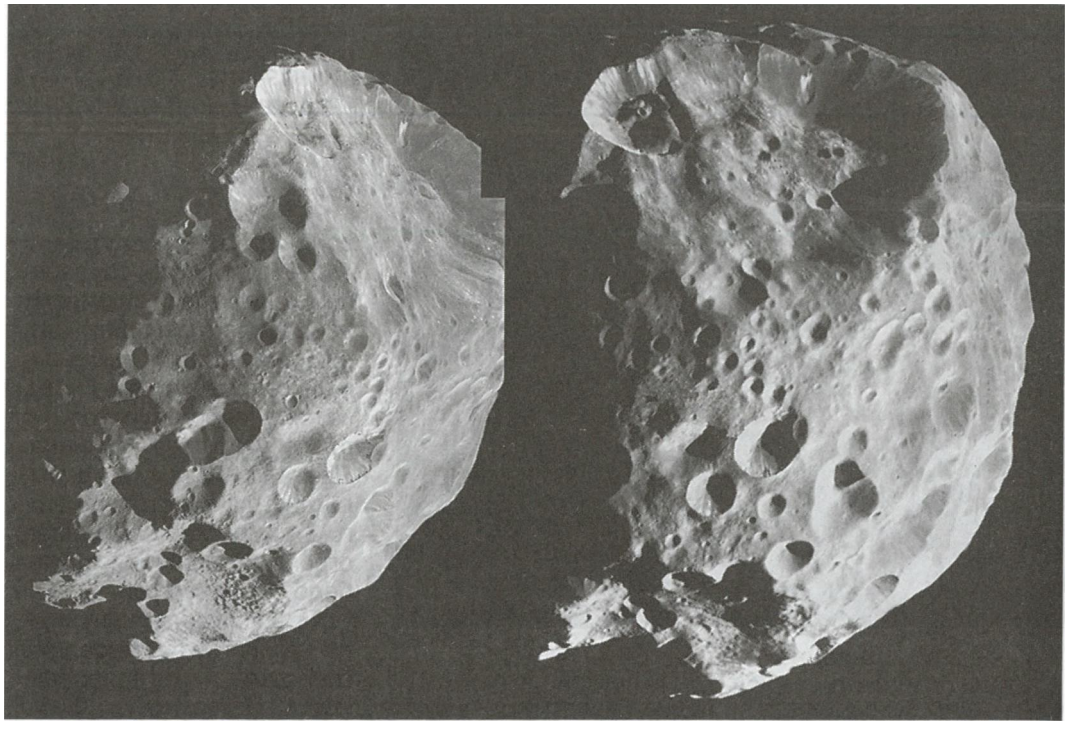
ФЕБА – ЯДРО ЗАХВАЧЕННОЙ КОМЕТЫ?

Обратное движение **Фебы** (220 км) по отношению к вращению Сатурна, сильно наклоненная и эксцентрическая орбита указывают на то, что Феба – объект, захваченный с гелиоцентрической орбиты. Исследование устойчивости областей, где находятся известные к настоящему времени далекие спутники планет, показало, что орбиты стабильны на большом промежутке времени. Области расположения прямых и обратных орбит далеких спутников Сатурна, в отличие от системы Юпитера, пересекаются, поэтому возможны столкновения между любыми парами спутников. Некоторые крупные спутники с обратным движением, в частности Феба, путем столкновений образовали известную популяцию, называемую группой Фебы. С другой стороны, сильно кратерированная поверхность Фебы указывает на то, что когда-то значительная часть крупной популяции спутников выпала на ее поверхность.

За время существования Солнечной системы Феба испытала, по крайней мере, шесть или семь столкновений с популяцией далеких спутников Сатурна, причем три четверти этих импактов произведено спутниками с прямым движением. Несмотря на большие скорости таких столкновений, ни один из этих ударов не разрушил Фебу. Изучение природы подобных взаимодействий позволило астрономам предсказать, что большинство крупных кратеров на поверхности Фебы размером до нескольких километров – результат соударений с другими спутниками. Вероятность соударений с кометами примерно на порядок меньше. Темный материал, выбиваемый с поверхности Фебы, затем перемещается в сторону другого спутника, Япета (1440 км), и покрывает ведущую сторону этого спутника, создавая огромное различие в альбедо его полусфер.

Предсказанная на основе теории столкновений большая кратерированность поверхности Фебы была блестяще подтверждена снимками, полученными при пролете АМС "Кассини". Кратеры до 1 км в диаметре характеризуют ее поверхность как очень древнюю. Низкая средняя плотность 1.6 г/см^3 указывает, что соотношение камня и льда в составе спутника примерно одинаково. Это значительно отличает Фебу от ледяных спутников Сатурна, которые сформировались в данной области из протопланетной туманности вместе с планетой. Композиционно они различны.

Феба близка по составу астероидам С-типа и таким объектам Солнечной системы, как Хирон и Фолюс, которые принадлежат семейству Кентавров и пришли из области за орбитой Нептуна, пояса Койпера. Низкое поверхностное альбедо от 1 до 5% го-



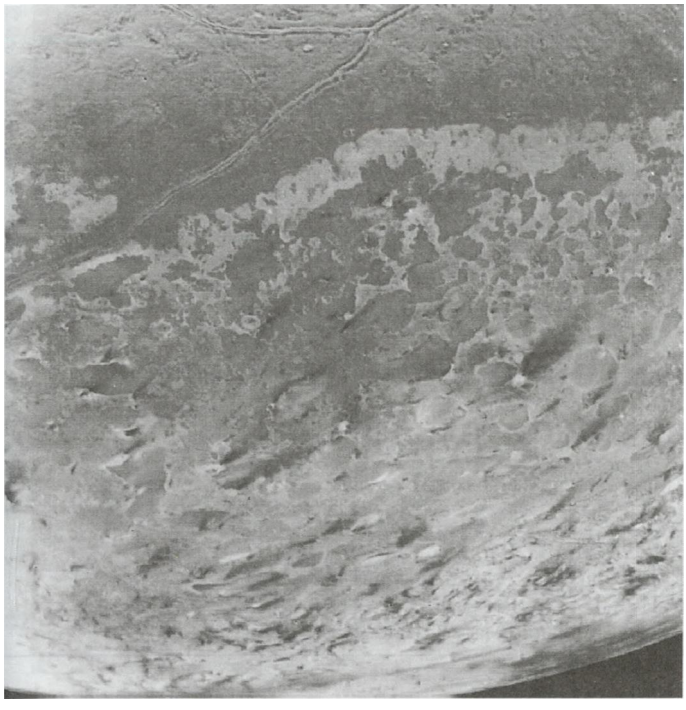
Снимки поверхности Фебы с разных сторон. Видны слоистая структура (чередование темных и светлых полос) и множество кратеров. Предполагается, что большинство кратеров образовались в результате соударений с другими спутниками. Фото АМС "Кассини" (NASA).

ворит о значительном различии материала в разных областях поверхности. Темное вещество покрывает спутник слоем от 300 до 500 м. Яркие полосы в валах наибольших кратеров и яркие лучи, которые наблюдаются на меньших кратерах, связаны с большим количеством льда. Линии поглощения органических молекул, цианидов и нитрилов в спектре свидетельствуют либо о кометном происхождении Фебы, либо о том, что она пришла из внешних областей Солнечной системы.

ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМЫ НЕПТУНА

В связи с недавними открытиями спутников астероидов и объектов пояса Койпера выделили новую группу объектов – кратных систем. Двойные системы составляют примерно 16% популяции околоземных астероидов, 2% астероидов Главного пояса. Растет число известных двойных объектов пояса Койпера (сегодня примерно 14%). Бинарные системы не могли образоваться в результате прямого захвата. Только при наличии третьего тела возможно появление такого множества конфигураций и размеров подобных систем. В динамической эволюции Солнечной системы большую роль играют взаимодействия, которые описывает задача трех тел. В результате сближений происходят различные взаимодействия: соударения, захват или разрушение бинарных систем, при которых один из членов двойной системы вытесняется или захватывается третьим телом.

Существование такого крупного спутника, как Тритон вблизи Нептуна может объяснить механизм его захвата на ранней стадии эволюции. Это единственный случай в Солнечной системе, когда близкий и массивный спутник вращается вокруг пла-



Южная полярная область Тритона. На поверхности видны структуры (темные штрихи), образованные извержениями гейзеров. Фото АМС "Вояджер-2", 1989 г. (NASA).

неты в направлении, обратном ее вращению по сильно наклоненной орбите. Тритон находится от Нептуна на расстоянии всего 14 радиусов планеты. Необходимо объяснить его обратное движение и большой наклон орбиты 157° к плоскости экватора Нептуна. Захват массивного Тритона на такую орбиту мог произойти при сближении Нептуна и бинарной системы, состоящей из Тритона и какого-либо третьего небесного тела.

Предполагается, что Тритон формировался во внешних областях Солнечной системы, там же, где Плутон и Харон, и их состав очень похож. Они состоят из твердого льда углекислоты, графита, метанового льда, метанированного водяного льда и камня. Тритон, как и Плутон, имеет значительную атмосферу с органической дымкой. Удивительные ледяные гейзеры на Тритоне (криовулканизм), возможно, связаны с сезонными изменениями солнечного тепла на поверхности.

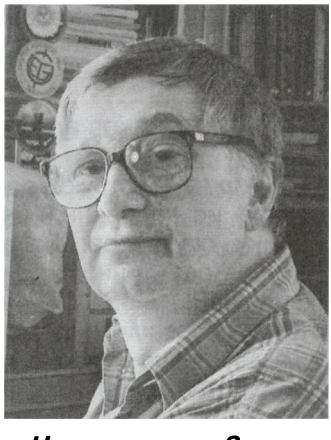
Согласно теории приливной эволюции, Тритон, движущийся в обратном направлении, спиралеобразно приближается к планете, так же как Фобос к Марсу. При уменьшении большой полуоси возможно появление вековых резонансов между движениями аргумента перицентра Тритона, узла и средним движением Солнца. Это приведет к большим изменениям эксцентриситета и наклона. Эффект обратных резонансов (для небесных тел, движущихся в разных направлениях вокруг планеты) средних движений Тритона и более близкого спутника Протея вызывает значительные вариации эксцентриситета орбиты Протея, что может, в свою очередь, привести к отрыву спутника. Начало такой нестабильности может стать важным фактором эволюции всей системы внутренних, то есть более близких, чем Тритон, спутников Нептуна.

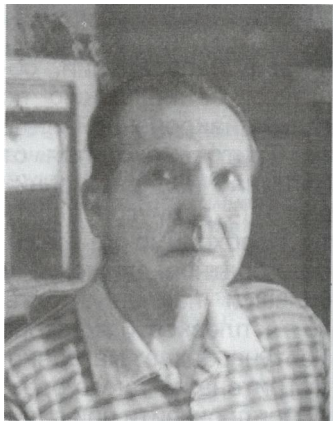
СЛУЖБА СПУТНИКОВ ПЛАНЕТ

В мире существуют два центра исследования динамики спутников: Лаборатория реактивного движения (JPL, NASA) и Институт небесной механики и вычисления эфемерид (IMCCE, Франция). Недавно *Служба естественных спутников планет* создана и в ГАИШ. Любому пользователю в мире она предоставляет через Интернет (http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/nss/index.htm) общие базы данных, включая наблюдения и параметры движения, а также программные средства вычисления координат всех спутников планет, необходимых, в частности, для космических миссий.

Астрофизики изучают атмосферу Земли

Б. В. СОМОВ,
доктор физико-математических наук
А. И. ХЛЫСТОВ,
кандидат физико-математических наук





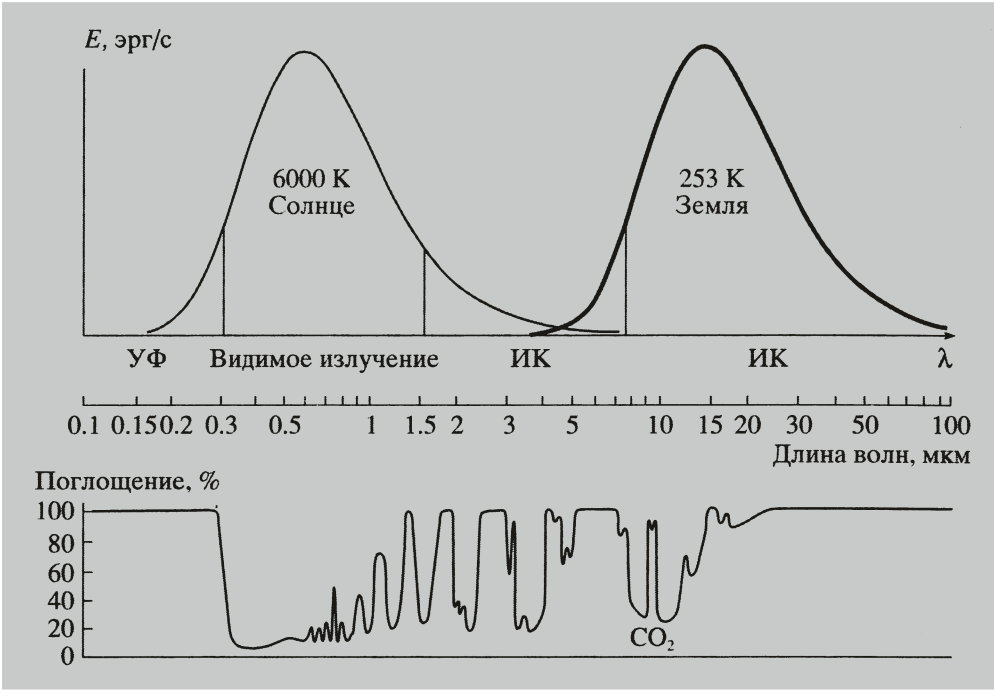
Наша планета Земля – комфортабельный космический корабль с прекрасно отлаженной системой жизнеобеспечения, надежно оберегающей все живое от губительного воздействия окружающего космического пространства.

Главные элементы земной системы жизнеобеспечения – магнитное поле и атмосфера. В Отделе физики Солнца ГАИШ, наряду с изучением Солнца, давно проводятся исследования кислородно-азотной атмосферы Земли. На ее свойства большое влияние оказывают водяной пар, углекислый газ и озон. Эти малые составляющие атмосферы занимают всего 1% ее объема, и к их изучению применимы астрофизические методы.

ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Если бы атмосфера Земли состояла только из азота, кислорода и аргона, то за счет тепловой инерции средняя температура земной поверхности поддерживалась бы на уровне около –3°С. В действительности же, благодаря *парниковому эффекту*, она составляет порядка +15°С. Содержащиеся в атмосфере Земли небольшие примеси паров воды, углекислого газа, метана, окиси азота и газов искусственного происхождения, используемых в холодиль-

© Сомов Б.В., Хлыстов А.И.



Графическое изображение существа парникового эффекта. Распределение энергии излучения по длинам волн для: Солнца (слева) и Земли (справа). Графики незначительно перекрываются в ближней инфракрасной области из-за большой разницы в температурах поверхностей Солнца и Земли. В этом участке и возникает парниковый эффект. Коэффициент поглощения земной атмосферы варьирует в спектре солнечного излучения: поток солнечной радиации проходит сквозь атмосферу практически беспрепятственно, в то время как тепловое (ИК) излучение Земли сильно поглощается.

ных установках, прозрачны для видимой солнечной радиации. Но они поглощают инфракрасное излучение Земли, не давая ему уходить в космическое пространство. Это и приводит к повышению средней температуры планеты примерно на 18°С по сравнению с "беспримесной" атмосферой.

Ученые единодушны в том, что причиной потепления является возрастание содержания в атмосфере Земли парниковых газов (CO_2, CH_4 и N_2O). Наиболее эффективен водяной пар, его количество в атмосфере за тысячелетие менялось незначительно. В то же время за 18 тыс. лет, предшествовавшие началу промышленной революции, содержание CO_2 в атмосфере **повысилось примерно на 25%.** А за последнее столетие (с 1880 г. по 1989 г.) количество углекислоты возросло на 20%, причем 12% пришлись на 1958–1989 гг. Такой высокий темп увеличения содержания CO_2 может привести в 2030 г. к удвоению его концентрации. Повышение содержания в атмосфере CO_2 вызывает **потепление климата**, создающее потенциальную угрозу самому существованию жизни на Земле (Земля и Вселенная, 2001, № 6; 2003; № 3).

Ввиду чрезвычайной сложности климатообразующих процессов количественные оценки глобального потепления страдают большой неопределенностью. Главную неясность в расчеты вносит процесс моделирования отклика атмосферы на изменения концентрации парниковых газов. Одна из важнейших составляющих комплексной программы по стабилизации климата – посто-

янный многолетний **мониторинг** содержания углекислоты в атмосфере.

Но традиционные, локальные, методы мониторинга содержания CO_2 в городских условиях, где имеется множество источников его выбросов, не могут дать надежные усредненные значения содержания углекислоты сразу для всего города. Астрофизики ГАИШ проводят систематические измерения количества углекислоты в атмосфере Москвы, используя астрофизические методы исследования Вселенной.

АТМОСФЕРА – ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ АСТРОНОМОВ

До начала космической эры астрономы были вынуждены проводить наблюдения небесных объектов исключительно с поверхности Земли, то есть со дна воздушного океана, каковой нам представляется земная атмосфера. Сегодня с помощью разнообразных астрономических приборов космос исследуют ИСЗ и межпланетные станции, но продолжаются наблюдения и в стационарные наземные телескопы. Прежде чем попасть в трубу телескопа, свет от исследуемых космических тел должен пройти всю толщу земной атмосферы. Чтобы получить "внеатмосферный" поток излучения от какого-либо небесного объекта, астрономы вынуждены вносить поправки на **искажающее влияние атмосферы**. Земная атмосфера, естественно, становится объектом исследования для астрономов.

Но это не только побочный продукт астрономических исследований. При измерении скоростей движения небесных объектов с использованием эффекта Доплера **теллурические (земные) линии** в спектре служат реперами, относительно которых измеряются смещения спектральных линий звезд, Солнца, планет, комет и других астрономических объектов. Зная механизм образования теллурических линий, можно судить о физических условиях в атмосферах планет по наблюдениям их спектральных линий.

Исследование теллурических линий в Отделе физики Солнца ГАИШ было начато в связи с участием в программе Международного геофизического года (МГГ, 1957–1959 гг.). На первых этапах исследований в работе принимали участие сотрудники Института Н.И. Кожевников, Е.А. Макарова, А.П. Сарычев, Г.Ф. Ситник и А.И. Хлыстов. С помощью разработанной в Отделе методики калибровки спектрофотометрических измерений во время наблюдений в Высокогорной экспедиции ГАИШ близ Алма-Аты и на подмосковной базе Института в Кучино было обнаружено, что содержание водяного пара днем в горных условиях значительно изменяется. Установлен также факт сезонных вариаций теллурических линий кислорода и водяного пара. Позднее эти экспериментальные данные удалось объяснить на основе упрощенной модели изменениями температуры и плотности воздуха по сезонам. Экспериментально обнаружены различия в ширине профилей кислородных линий, записанных в Москве и на высоте 3 тыс. м над уровнем моря – на Тянь-Шане. Именно эти результаты послужили основанием для предположения о возможном присутствии кислорода в атмосфере Марса. В 1969 г. А.И. Хлыстов использовал уравнение переноса излучения, применяемое в астрофизике при исследовании звездных атмосфер, с целью точного расчета профилей теллурических линий кислорода. Изучая линии кислорода, удалось получить данные о температуре и плотности в атмосфере Земли. А они были использованы впоследствии при решении важной прикладной задачи – расчете наиболее благоприятных условий для прохождения лазерного излучения в земной атмосфере. Но вернемся к проблеме парниковых газов, важнейший из которых – углекислый газ (CO_2).

CO_2 В АТМОСФЕРЕ ГОРОДОВ

С 1991 г. в Отделе физики Солнца ГАИШ были начаты работы по изучению изменения содержания углекислого газа с применением астрофизических методов в атмосферах крупных городов и промышленных центров на примере Москвы.

Отсутствие длительных рядов наблюдений CO_2 в атмосфере над городами вызвано объективными трудностями. Так, А.И. Нахутин (Институт прикладной геофизики РАН, 1991), отбирая пробы воздуха в различных районах Москвы, пришел к выводу, что техногенные выбросы CO_2 в атмосферу над городом создают весьма заметные **пространственные неоднородности** в его распределении в слое 350–500 м над поверхностью Земли. При этом наиболее сильно такие неоднородности выражены в самом нижнем, пятидесятиметровом, слое. Здесь при неблагоприятной метеорологической ситуации они могут достигать 10% фонового значения. Еще большие вариации (до 15%) связаны с суточными и сезонными циклами в ходе интенсивности антропогенных выбросов. В результате для получения представительных данных, характеризующих общую ситуацию в контролируемом районе, требуется около месяца.

В качестве приемника излучения в ГАИШ использовали *сернисто-свинцовое фотосопротивление*, охлаждаемое твердой углекислотой. Важно было оценить влияние вариаций CO_2 на регистрируемую *эквивалентную ширину* спектральных линий, показывающую, какую долю солнечной энергии поглощает данная линия. Напомним, что это доля энергии спектра Солнца, поглощенная спектральной линией, функционально связанная с общим количеством поглощающих молекул. Мы рассчитали вклад в вариации нижней толщи атмосферы (500 м) на основе ее средней модели. Оказалось, что в приземном слое образуется только 9% полной эквивалентной ширины линии. С учетом максимально возможной 15-% вариации интенсивности антропогенных выбросов CO_2 неопределенность в оценках изменения его содержания не более 1.5%, то есть в пределах ошибок самого метода. Следовательно, астрофизический метод позволяет проводить мониторинг в режиме реального времени, что делает его приемлемым при решении такого рода задач.

Астрофизики используют солнечный телескоп башенного типа со спектрографом высокого разрешения (порядка 15 тыс.). Он позволяет получать спектры атмосферы Солнца (с расстояния около 150 млн. км). Естественно, **точность спектров атмосферы Земли** на такой установке будет исключительно высокой.

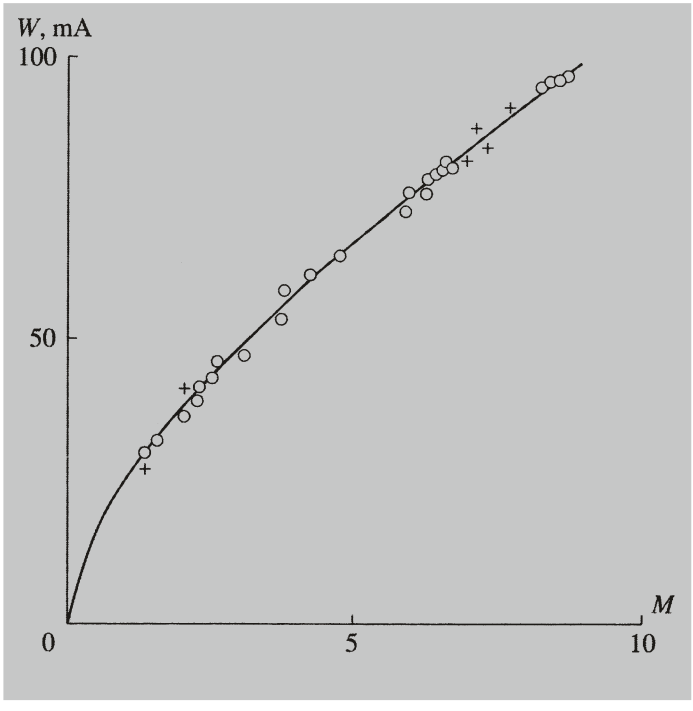
Можно сказать, что при исследовании теллурических линий мы используем Солнце как мощный прожектор, просвечивающий сразу всю толщу атмосферы. Флуктуации приземной концентрации CO_2 слабо влияют на измеряемое интегральное содержание CO_2 в атмосфере.

Астрофизический метод весьма трудоемкий. Сначала проводится детальный расчет профиля коэффициента поглощения каждой линии с учетом зависимости от температуры, давления и различных механизмов расширения спектральных линий. Затем уравнение переноса излучения в земной атмосфере интегрируют по всей ее толще с учетом физических условий на момент наблюдения, чтобы получить теоретические профили линий. После этого теоретические профили сравниваются с экспериментальными. Удается проследить за изменениями со временем содержания того или иного компонента в атмосфере сразу по всей ее толще.

НАДЕЖНОСТЬ ПОЛУЧАЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании анализа профилей линий CO_2 с помощью специальных таблиц и *Атласа спектров Солнца* были выбраны две одиночные линии в инфракрасной области спектра около 2.06 мкм с "чистыми" профилями (то есть на них не налагались никакие другие линии солнечного спектра). Специально исследовалось возможное искажение профилей линий воздействием паров воды. Были получены спектры при очень малой и очень большой влажности воздуха. Заметим, что в указанном диапазоне спектра находится несколько слабых и сильных линий паров воды. По их изменению было установлено, что в исследуемых линиях CO_2 нет линий воды.

Исходя из общих соображений, можно сказать,



Зависимость эквивалентной ширины линии кислорода с длиной волны λ = 6295 Å от атмосферной массы M (от 1 до 10). Точки – данные, полученные в августе 1970 г., крестики – в мае и декабре 1990 г. Оба массива данных хорошо ложатся на одну и ту же кривую роста.

что для получения надежных данных о долговременных (порядка десятков лет) вариациях углекислого газа в атмосфере Земли необходимо проводить запись спектра Солнца строго при одних и тех же условиях. Это подразумевает не только неизменность характеристик телескопа и спектрографа, регистрирующей аппаратуры, способа обработки, неизбежность личных ошибок наблюдателя, но также, по возможности, полную идентичность физических условий в атмосфере и метеорологической ситуации.

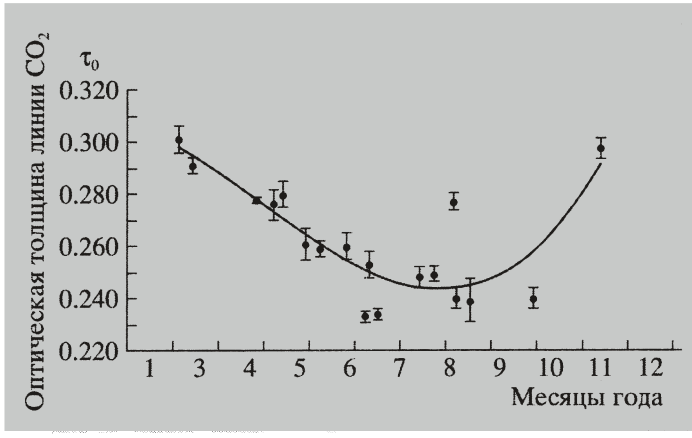
Стабильность первой части этой цепочки мы проверили по линии кислорода (λ = 6295 Å) в 1970 г. и 1990 г. Согласно современным исследованиям, содержание O_2 в атмосфере остается неизменным с точностью до долей процента. Когда мы построили графики зависимости эквивалентной ширины линии кислорода от атмосферной массы *M* (относительная толщина атмосферы, зависящая от высоты Солнца над горизонтом и показывающая, во сколько раз толща атмосферы в направлении на Солнце больше, чем в направлении к зениту), оба массива данных легли на одну и ту же кривую (в астрофизике ее называют кривой роста). Таким образом, мы получили подтверждения стабильности технической части эксперимента на протяжении десятков лет.

Для исследования возможной зависимости содержания CO_2 во всей толще атмосферы от направления ветра мы отобрали наблюдения за февраль–ноябрь 1992–1995 гг., ограничившись только околополуденными часами, чтобы максимально исключить влияние дневного хода коэффициента турбулентности на результат. Несмотря на значительный разброс точек, вызванный, по-видимому, неучтенной зависимостью коэффициента турбулентности от сезона, можно сделать следующий вывод: при южном ветре содержание CO_2 в атмосфере над Юго-Западом Москвы несколько уменьшается, а при северном ветре – возрастает.

СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ CO_2

Согласно многолетним статистическим данным, в Москве в течение года бывает около 35 солнечных дней, причем полностью безоблачных – не более 10. А поскольку распределение ясных дней по месяцам в разные годы не одинаково, в общем многолетнем ряду оказываются наблюдения, выполненные в разные сезоны.

Известно, что концентрация CO_2 обычно имеет



Сезонные изменения оптической толщи атмосферы τ_0 (величина, пропорциональная общему числу поглощающих свет молекул). Точки – данные эксперимента (высота столбика характеризует величину ошибки измерения), сплошная линия – аппроксимирующий многочлен 3-й степени. Минимальные значения $\tau_\odot$ в конце июля – начале августа, когда фотосинтетическая активность растений максимальна.

минимум в конце лета и максимум – в зимние месяцы. Это связывают с сезонностью фотосинтеза растений и с ростом городских антропогенных выбросов в зимний период из-за увеличения потребления топлива на обогрев помещений. Но отмечаются и заметные отклонения от такого типичного хода. Например, минимум концентрации CO_2 в Берлине приходится на декабрь, а в Тегеране – на июнь. Причиной этого могут быть как особенности локальной сезонной производительности антропогенных источников, так и географическое положение пункта наблюдения.

Сезонные вариации CO_2 в атмосфере над Москвой мы изучали по материалам наблюдений в феврале–ноябре 1992–1995 гг. Установлено, что имеется заметный сезонный ход в получаемых из наблюдений концентраций углекислого газа. В конце июля – начале августа его содержание в атмосфере достигает минимальных значений, а зимой заметно растет и выходит на пологий максимум, сохраняющийся весь период с ноября по февраль.

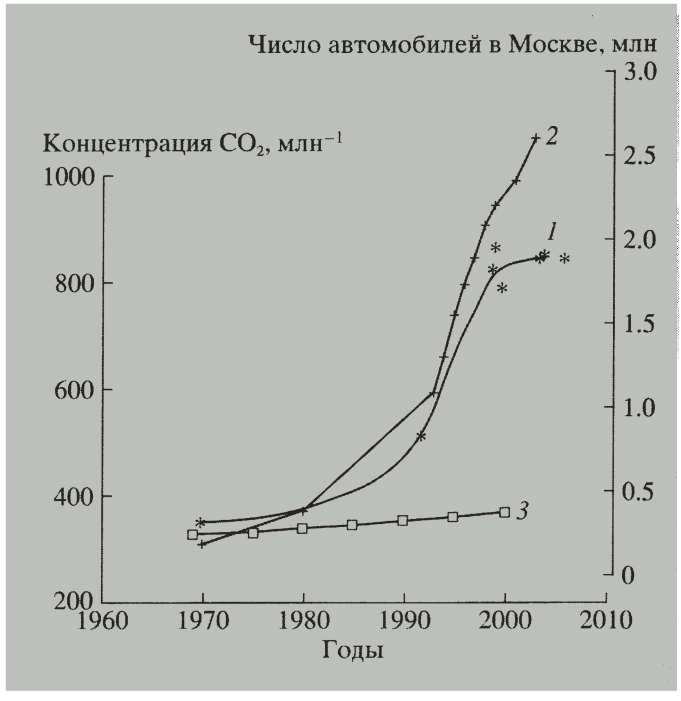
На основе анализа проведенных исследований мы пришли к выводу, что для получения надежных данных о долговременном тренде содержания углекислого газа в атмосфере над Москвой следует записывать спектр Солнца осенью в околополуденные часы при слабом ветре южного направления.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АТМОСФЕРЫ НАД МОСКВОЙ

Приступая в 1991 г. к проведению регулярных наблюдений **инфракрасных линий CO_2** по программе астрофизических исследований атмосферы над Москвой, мы просмотрели записи теллурических линий спектра из архива Отдела физики Солнца и обратили внимание на две записи интересующих нас линий, сделанные 3 декабря 1969 г. Обработав эти данные совместно с полученными 27 сентября 1991 г., мы обнаружили, что за 22 года, разделяющие эти даты, концентрация углекислого газа в атмосфере над Москвой возросла примерно на 48%. В то же время планетарный рост концентрации углекислоты за период 1973–1991 гг., по результатам американского **мониторинга над сельской местностью** (данные лаборатории NOAA, США), составил всего около 8%.

Обнаруженный нами в 1991 г. факт значительного превышения содержания CO_2 над Москвой по сравнению с сельской местностью спустя 7 лет был подтвержден геофизиками в США. Они измеряли концентрацию CO_2 в пределах города Феникс (штат Аризона) на высотах от 2 м до 1.6 км. Оказалось, что над центром города содержание CO_2 возрастает примерно в 1.5 раза по сравнению с пригородами.

В 1998–1999 гг. получены новые записи спект-



Результаты 35-летних исследований изменения концентрации CO_2 в воздушном бассейне Москвы. Почти синхронный рост содержания углекислого газа (1) и числа автомобилей в Москве с 1969 г. по 1988 г. (2) подтверждает вывод о том, что основной источник CO_2 в Москве – автомобильный транспорт. Скорость нарастания концентрации CO_2 в атмосфере над Москвой значительно превышает соответствующие "сельские" показатели. Данные метеостанции Мауна-Лоа на Гавайях (3) получены Лабораторией мониторинга и контроля климата Национального управления исследования океанов и атмосферы NOAA (США).

ров линий молекулы CO_2. Результаты обработки показали, что с начала 1990-х гг. стало быстро расти содержание углекислоты в воздушном бассейне Москвы превысив к концу 1999 г. в 2.5 раза уровень 1969 г. За этот же период в пунктах, находящихся на значительном удалении от больших городов и промышленных центров, соответствующий прирост количества углекислоты составил всего около 11% (измерения Лаборатории мониторинга NOAA).

В 2003 г. исследования концентрации углекислоты над Москвой были продолжены. 16 мая получено пять регистрограмм с линиями CO_2, а 11 и 30 сентября – еще 12 записей линий молекулярного спектра. Обработка этих записей показала, что насыщение углекислотой воздушного бассейна Москвы осталось на уровне 1998 г. Последние наблюдения, выполненные в 2005 г., окончательно подтвердили этот важный результат.

Совершенно очевидно, что повышенные концентрации двуокиси углерода в городах обусловлены размещением там многочисленных производств, использующих углеводородное топливо, а также множеством автомобилей. Согласно сведениям Москомприроды, в 1998 г. автотранспорт давал в Москве 85% всех выбросов двуокиси углерода, а в 1999 г., по результатам исследований Центра теоретического анализа экологических проблем, этот показатель увеличился до 92%.

Заметный рост числа автомобилей отмечен в Москве в 1969 г.; сначала он шел довольно умеренными темпами, но с 1992 г. – необыкновенно бурно. И именно на этот год приходится резкий излом на кривой, показывающей изменение количества CO_2 в атмосфере над Москвой. Согласованность двух графиков подтверждает, что автомобили в Москве – главный источник выбросов углекислоты в атмосферу.

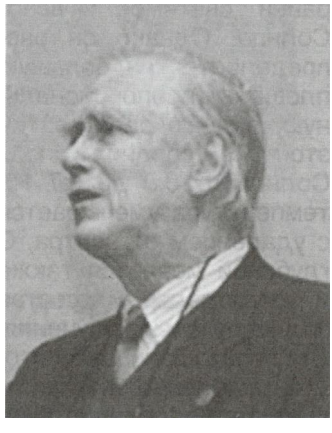
Следует обратить внимание на то, что сейчас практически достигнуто равновесие между поступающими в эксплуатацию новыми автомобилями и выходящими из строя старыми. Это, а также принимаемые в Москве меры по экологизации автомобильного транспорта и привело к **прекращению роста содержания углекислого газа в атмосфере над Москвой**.

Гелиосейсмология как метод изучения Солнца

Э. В. КОНОНОВИЧ,
кандидат физико-математических наук

В 1961 г. впервые были обнаружены колебания в Солнечной атмосфере. Вскоре стало ясно, что эти пульсации распространяются по всему Солнцу, причем не только в атмосфере, но и вглубь. Астрофизики пришли к выводу, что, измеряя амплитуды и частоты солнечных пульсаций, можно уточнить внутреннее строение нашего светила. Так родилась гелиосейсмология. В настоящее время это метод уточнения и проверки теории внутреннего строения Солнца. Методы гелиосейсмологии успешно применяются и при изучении других звезд (Земля и Вселенная, 2005, № 6).

С начала 1990-х годов в ГАИШ МГУ проводятся гелиосейсмологические исследования. Изучается спектр колебаний, распространяющихся в теле Солнца, с целью моделирования его внутреннего строения.



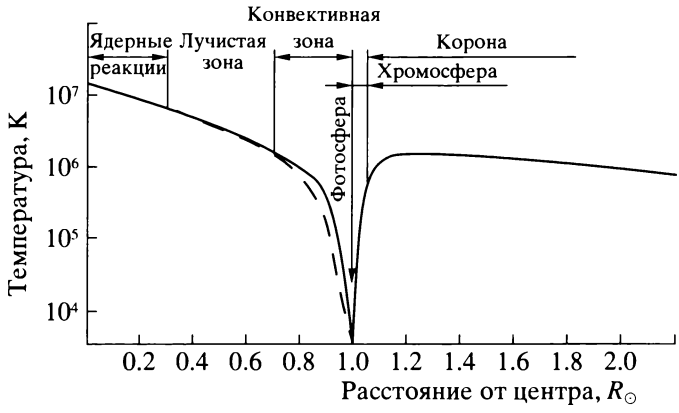
СОЛНЦЕ КАК ЗВЕЗДА

Для астрономов, занимающихся исследованием природы Вселенной, Солнце – типичная звезда на среднем этапе эволюции, каких много можно наблюдать на небе.

До недавнего времени изучение звезд и Солнца ограничивалось лишь данными непосредственных наблюдений их излучения. В основном только на Солнце удается подробно изучить структуру отдельных образований в его атмосфере.

Высокие температуры и плотности вещества в центральных областях звезд обеспечивают возможность термоядерных реакций, сопровождающихся интенсивным выделением энергии. Именно здесь кроме выделения энергии за счет термоядерных реакций (*протон-протонная реакция*) заметную роль играет и более сложная цепочка ядерных превращений, в которых ядра углерода как бы катализаторы (*углеродный цикл*). У Солнца

© Кононович Э.В.



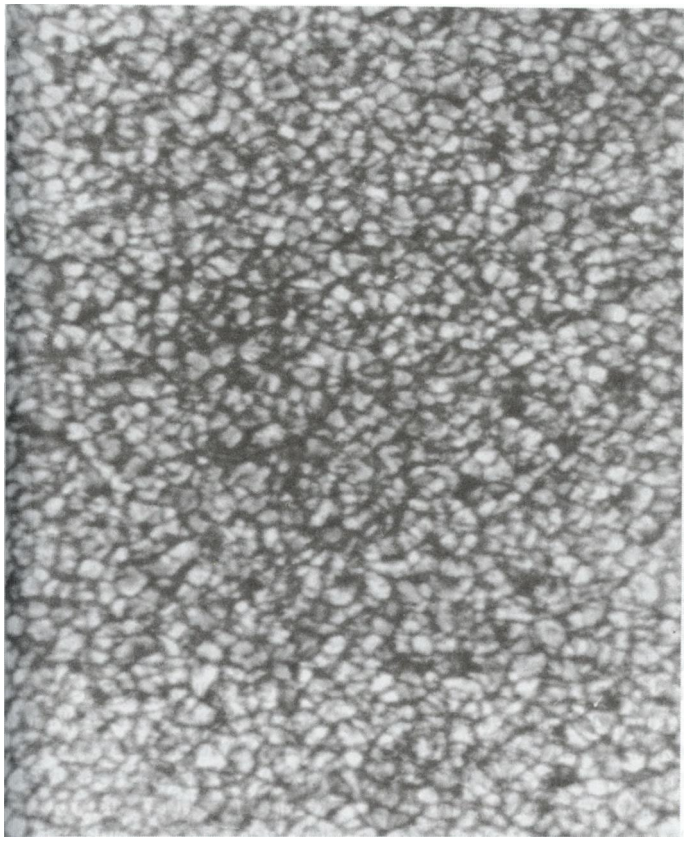
Изменение температуры различных слоев Солнца с глубиною. Пунктиром изображен ход температуры без учета конвекции.

по мере удаления от центра температура и плотность становятся меньше, выделение энергии за счет углеродного цикла быстро прекращается, и вплоть до расстояния 0.2–0.3 радиуса от центра существенной остается одна протон-протонная реакция. На расстоянии от центра больше 0.3 $R_\odot$ температура понижается до $5 \cdot 10^6$ К, заметно уменьшается и плотность. В результате ядерные реакции здесь почти не происходят. Эти слои только передают наружу излучение, возникшее на большей глубине, поглощаемое и переизлучаемое вышележащими слоями. Удаляясь от центра, общий поток излучения распределяется на бóльшую площадь, пропорциональную квадрату радиуса, поэтому количество энергии на единицу площади убывает. Вместе с тем в каждой области внутри Солнца поле излучения соответствует температуре Т и определяется законами равновесного излучения. Поскольку, как известно, общий, по всему спектру, поток такого излучения пропорционален четвертой степени температуры, внутри Солнца, там, где источников энергии уже нет, полный поток излучения не меняется и равен светимости всего Солнца. Однако он распределяется на большую площадь, пропорциональную квадрату радиуса. Поэтому в средних слоях Солнца от 0.3 до 0.7 $R_\odot$ температура уменьшается с удалением от центра. С глубиной меняется также и спектральный состав солнечного излучения. Эта часть Солнца, в которой выделение энергии за счет термоядерных реакций незначительно и происходит лишь ее перенос путем последовательных процессов поглощения и переизлучения, называется *зоной лучистого равновесия* (лучистая зона).

Выше лучистой зоны перенос энергии происходит благодаря движению самого вещества. Непосредственно под наблюдаемыми внешними слоями Солнца, на протяжении около 0.3 его радиуса, возникает *конвективная зона*. В ней достаточно регулярно образуются поднимающиеся и опускающиеся потоки плазмы, которые в мелких масштабах (много меньше $R_\odot$) имеют хаотический (турбулентный) характер. В результате температура в среде выравнивается и медленнее уменьшается с удалением от центра, чем в лучистой зоне.

Конвективная зона играет важную роль для всего Солнца. В ней формируется структура вышележащих слоев солнечной атмосферы, имеющая динамический характер. Здесь тепловая энергия частично переходит в механическую, а затем – обратно в тепло.

Конвекция наблюдается в виде *грануляции* – характерной зернистой структуры видимых слоев солнечной атмосферы, температура которых продолжает уменьшаться вплоть до *минимального для всего Солнца* значения около *4200 К*, после чего она снова растет. Так возникает область температурного минимума, почти совпадающая с наблюдаемым с Земли резким краем Солнца. Водород при этой температуре нейтрален, однако металлы все еще ионизованы. Отсюда следует, что солнечное вещество всюду ионизовано. Только в области температурного ми-



Солнечная грануляция. Конвекция проявляется в виде гранул – наблюдаемых зерен в структуре фотосферы.

нимума степень ионизации обусловлена количеством атомов металлов, доля которых около 10^{-4} от общего числа атомов. Все остальное вещество с температурой выше 10^4–$1.5 \cdot 10^4$ К, при которой ионизуется водород, оказывается практически полностью ионизованной плазмой.

Известно, что атмосферу Солнца условно разделяют на три оболочки. Самая глубокая из них – *фотосфера*, толщиной около 300 км. Она состоит из слабо ионизованного, почти нейтрального водорода и однократно ионизованных металлов. Над ней находится сильно разреженная и весьма неоднородная, "клочковатая" *хромосфера* протяженностью 10–20 тыс. км, в которой по мере продвижения вверх из-за нагревающего действия звуковых волн и магнитных полей температура растет, сначала медленно, а затем быстро, скачками. Это связано с последовательной ионизацией водорода, гелия и других химических элементов. В самых верхних слоях плотность хромосферы быстро уменьшается, а температура резко, скачком увеличивается от нескольких десятков тысяч кельвинов более чем в сто раз. В этом тонком переходном слое почти полностью ионизуются все атомы солнечной плазмы, и она переходит в разреженную и горячую *солнечную корону* с температурой более 10^6 К. В короне все атомы ионизованы вплоть до самых глубоких электронных оболочек. Поскольку при этом освободившихся электронов много больше, чем положительных ионов, корону можно считать электронным газом. В силу равенства средней энергии частиц газа, легкие электроны "носятся" со скоростями в тысячи километров в секунду, что в десятки раз больше, чем скорости "неуклюжих" ионов. Плотность электронно-ионного газа с удалением от Солнца, естественно, сильно уменьшается. При этом быстрые частицы реже сталкиваются друг с другом и дальше убегают от Солнца. В итоге корона постепенно становится расширяющимся с расстоянием от Солнца потоком ионизованных частиц (в основном протонов, альфа-частиц и свободных электронов) и связанных с ними магнитных полей. Так возникает *солнечный ветер* – непрерывное истечение от Солнца намагниченной разреженной и "горячей" плазмы. Она заполняет окружающее его межпла-

нетное пространство – гелиосферу (Земля и Вселенная, 2005, № 4). Земля оказывается под непосредственным воздействием солнечного ветра и его магнитного поля.

Для всего Солнца существенно взаимодействие его вращения с турбулентной конвекцией, приводящее к двум важным последствиям. Во-первых, это дифференциальное вращение внешних слоев Солнца (быстрое на экваторе и замедляющееся к полюсам). Во-вторых, постоянное усиление магнитного потока и образование в основании конвективной зоны магнитного слоя с большой напряженностью магнитного поля.

Таким образом, конвективная зона не только формирует и определяет структуру солнечной атмосферы, но и, снабжая ее магнитной энергией, "оживляет" мощными и впечатляющими проявлениями солнечной активности, сильно влияющими на околоземное космическое пространство.

ВОЛНЫ НА СОЛНЦЕ

Когда впервые астрономы обсерватории Маунт Вилсон (США) случайно обнаружили колебания на Солнце по измерениям лучевых скоростей его структурных образований, то определили их период, оказавшийся в диапазоне пяти минут. Впоследствии выяснилось, что эти колебания распространяются по всему Солнцу, причем не только в наружных слоях, но и вглубь.

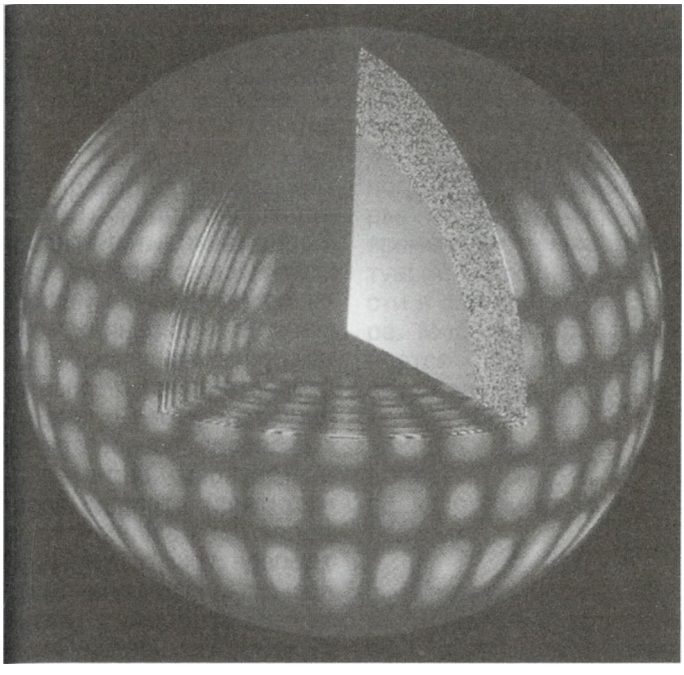
Хотя Солнце и представляет собой плазменный шар, его плотность в центре больше, чем у свинца, а в наружных слоях она беспредельно мала. Такое разнообразие условий не препятствует распространению в намагниченной плазме всевозможных волн, начиная от обычного звука до магнитогидродинамических, а также внутренних гравитационных (как на море) и даже мощных ударных волн. Регистрируя параметры волн, можно изучать внутреннее строение Солнца и физические условия в отдельных его слоях, словно "прослушивая" их на разных глубинах.

Под действием центробежных сил вращающийся упругий шар приобретает форму эллипсоида вращения. Солнце вращается сравнительно медленно. Поэтому его фигура ничтожно отличается от шарообразной – всего на стотысячные доли радиуса. Однако если где-нибудь на Солнце нарушится механическое равновесие, например, из-за падения метеорита или в результате вспышки, то могут возникнуть колебания (волны). Их характер определяется силой начального возмущения и свойствами окружающей среды. При сильной неустойчивости возникают колебания больших амплитуд.

В 1976 г. сотрудники Крымской астрофизической обсерватории и Бирмингемского университета опубликовали результаты наблюдений глобальных пульсаций Солнца с периодом около 160 мин. В 1990-х гг. по измерениям частот орбитального обращения нескольких тысяч тесных двойных звезд, а также периодичности вариаций яркости ядер активных галактик было обнаружено, что 160-минутные колебания яркости происходят у всех исследованных объектов независимо от расстояния до них. Это противоречит закону Хаббла, согласно которому скорости всех процессов во Вселенной увеличиваются пропорционально расстоянию до соответствующих объектов. Остается предположить, что это противоречие связано с нашими космологическими представлениями (В.А. Котов и В.М. Лютый, 1993). Не исключено также проявление некоторого неизвестного аппаратурного эффекта.

ТИПЫ КОЛЕБАНИЙ, ИЗУЧАЕМЫХ В ГЕЛИОСЕЙСМОЛОГИИ

В гелиосейсмологии наблюдения колебаний используют для изучения внутреннего строения Солнца. Области распространения и часто́ты волн позволяют определять физические свойства в недрах нашей звезды. Внутренние ее слои являются сферическими резонаторами для акустических волн. В них волны изменяют свое направление из-за рефракции во внутренних областях (вследствие увеличения температуры, а значит и скорости звука с глубиной), что приводит к



Пространственное изображение отдельной моды пятиминутных колебаний на Солнце. Ее можно наблюдать благодаря тому, что эти моды не взаимодействуют друг с другом. Каждая из них несет определенную информацию о внутреннем строении Солнца.

полному внутреннему отражению на границах резонаторов. Во внешних слоях также происходит отражение от наружных слоев резонаторов вследствие резкого падения плотности в области температурного минимума в атмосфере Солнца. Толщина слоя проникновения волн зависит от направления распространения колебаний. Сферическая симметрия солнечных слоев упрощает анализ колебаний. Фаза собственного колебания сохраняется в течение длительного времени, за которое волна успевает многократно обойти все Солнце. Это означает, что характер волн глобальный и слабозатухающий. Волны низких частот не затухают в течение 10–20 суток. Длинные волны распространяются до глубоких слоев Солнца. Это позволяет изучить его внутреннее строение почти до ядра.

В гелиосейсмологии в основном рассматриваются *акустические моды* (типы) звуковых колебаний, обусловленные давлением (p-моды) (Земля и Вселенная, 2005, № 6). Внутренние *гравитационные* волны (g-моды, для которых возвращающей силой служит гравитация) надежно еще не обнаружены. Возмущения в сферическом теле Солнца раскладывают на составляющие вдоль радиуса r (*радиальные моды*) и вдоль поверхности сферы (*горизонтальные моды*). Волны, укладывающиеся целое число (n) раз вдоль радиуса или один раз вдоль большого круга сферы, могут образовывать стоячие волны (собственные колебания). Тогда длина волны для горизонтальных собственных мод равна $2\pi r/l$. Для математического описания радиальной части волн обычно используют *полиномы Лежандра*, а для собственных горизонтальных мод – *сферические функции*.

Для Солнца относительное изменение потока излучения составляет около 10^{-5} $L_\odot$, а значения периодов заключены в пределах от 3 до 15 мин. Наибольшей амплитудой (до 20 см/с в значении скорости) обладают колебания с периодами около пяти минут, поэтому весь диапазон стали называть *пятиминутными колебаниями*. В отличие от цефеид, колебания с такими амплитудами можно считать независимыми, то есть не влияющими друг на друга. Одновременно возникают и сосуществуют несколько элементарных колебаний.

Всякое достаточно малое произвольное колебание, как правило, можно представить линейной комбинацией элементарных гармонических колебаний – *собственных мод*. Это возможные колебания системы, при которых, в случае

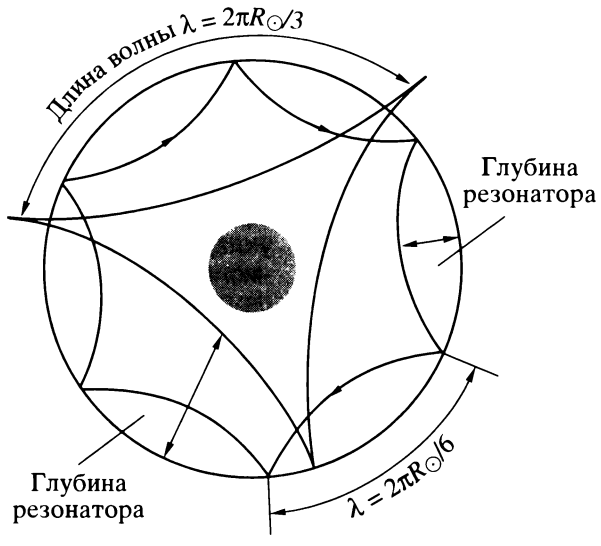


Схема распределения пятиминутных колебаний в конвективной зоне (внутрь Солнца и горизонтально).

отсутствия затухания, каждая точка колеблется по простому гармоническому закону.

Тип и частота отдельных собственных мод определяется внутренним строением Солнца или звезды. Верно и обратное: *по спектру собственных колебаний можно изучить строение объекта*. Это основа гелиосейсмологии – диагностики свойств солнечного вещества на основании наблюдаемых частот и амплитуд колебаний.

При специфических условиях возбуждения колебания можно непосредственно наблюдать его изолированные собственные моды, например при резонансе с частотой внешнего воздействия. В общем случае для выделения определенных мод, связанных с изолированными колебаниями, и вычисления их частот применяются специальные методы анализа. Можно выполнить *преобразование Фурье* наблюдаемых пространственно-временных флуктуаций яркости или скорости в атмосфере Солнца. Это позволяет в наблюдаемых значениях "как бы увидеть" отдельную моду. С точки зрения физики подобная возможность обусловлена линейностью колебаний, то есть отсутствием их взаимодействия.

Специальные методы позволили исследовать солнечные колебания, или пульсации. Сейчас наблюдениям доступно множество собственных мод Солнца с периодами от трех до нескольких десятков минут. Однако наблюдения пока не охватывают весь спектр существующих собственных колебаний. Поэтому они не дают возможности полностью воссоздать структуру Солнца. Тем не менее, если предположить, что Солнце находится в гидростатическом равновесии, то по имеющейся информации о колебаниях можно определить зависимость скорости звука от расстояния до центра Солнца.

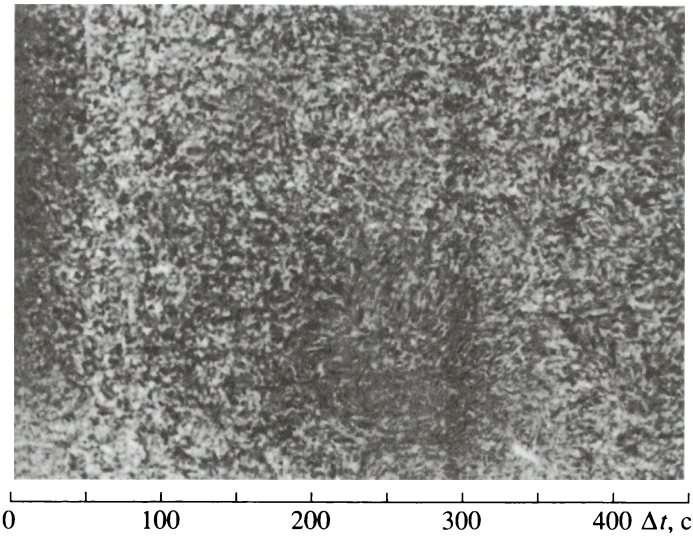
Условия распространения звуковых волн в значительной степени определяются зависимостью температуры от глубины, поскольку в идеальном газе, к которому близка структура вещества Солнца, скорость звука пропорциональна квадратному корню температуры. В *стратифицированной атмосфере*, где температура и плотность зависят от высоты, скорость звука должна быть меньше некоторого критического значения. Как мы уже говорили, в верхних слоях фотосферы образуется слой с минимальным значением температуры около 4200 K, выше которого она начинает расти с удалением от центра. Для акустических волн этот слой температурного минимума оказывается *критическим*: испытывая рефракцию, волны отражаются от него. В итоге область возможного распространения волн ограничена внешними слоями фотосферы и некоторым уровнем в конвективной зоне. Таким образом, Солнце оказывается своеобразным сферическим

концентрическим резонатором, структура которого определяет спектр (набор) пятиминутных колебаний. Первыми в самом начале 60-х гг. были открыты волны, распространяющиеся горизонтально. Наблюдения показали, что колебания носят поверхностный и чисто локальный характер. В конце 60-х гг. выяснилось, что для крупных структурных образований фаза волн сохраняется больше часа. За это время волна успевает распространиться в пределах всего Солнца. В конце 1970-х гг. XX в. были проведены эксперименты по наблюдению волн, распространяющихся в направлениях, близких к вертикали (вглубь Солнца). Эти наблюдения с использованием анализа пятиминутных колебаний стали основой для применения нового подхода к изучению внутреннего строения Солнца. Предполагается, что некоторые волны не затухают за 10–20 суток.

Собственные моды – это колебания таких частот и длин волн, которые целое число раз укладываются на окружности вокруг Солнца или между точками отражения по радиусу. Точки, в которых амплитуда колебаний обращается в нуль называются *узлами* моды, а число узлов по радиусу – ее *порядком*. Число узлов по замкнутому пути вдоль сферического слоя – *горизонтальное волновое* число моды, обратно пропорциональное горизонтальной длине волны. В зависимости от нее можно выделить колебания с отдельными периодами для мод различных порядков. Эти данные получаются непосредственно из наблюдений в результате двойного преобразования Фурье по координате и по времени наблюдений флуктуации яркости или скорости в солнечной атмосфере. Модель Солнца уточняется путем сравнения наблюдаемых и теоретических кривых.

ДОПЛЕР-СПЕКТРОГЕЛИОГРАФ ЛЕЙТОНА

В первых исследованиях солнечных колебаний был использован специальный прибор – *спектрогелиограф Хэйла*, позволяющий получать монохроматическое изображение Солнца в лучах отдельной спектральной линии или даже в определенных участках ее профиля. При помощи этого прибора сканируют изображение Солнца через длинную узкую щель спектрографа. В результате получается монохроматическое изображение Солнца, называемое спектрогелиограммой. Р. Лейтон на обсерватории Маунт Вилсон (США) сконструировал *двойной спектрогелиограф*, позволивший получать два изображения Солнца одновременно в двух близких участках спектра, симметрично расположенных на профиле солнечной спектральной линии. При отсутствии смещения линии эти спектрогелиограммы будут одинаковыми. Если же существует скорость по лучу зрения, то в соответствующих участках изображения из-за доплеровского смещения линии почернения на спектрогелиограммах будут различными. Лейтон применил метод наложения фотографических изображений. Первый снимок – негатив, полученный, например, в красном крыле линии. Второй снимок – позитив спектрогелиограммы, полученной в синем крыле линии. При их наложении выделяются области, чернота которых пропорциональна относительной скорости данных участков изображения. Соответствующий отпечаток называется *доплерограммой*. Для получения двух одновременных доплерограмм Лейтон включил в схему спектрогелиографа Хейла разделитель изображения и получил двойной спектрогелиограф. На этом приборе можно исследовать не только лучевые скорости, но и другие явления (например, поляризацию и магнитное поле). Если для доплерограммы второй негатив сделать не одновременно с первым, а сразу после него при обратном направлении сканирования изображения, то после наложения получится доплерограмма с постоянно увеличивающимся временем запаздывания. При этом оказалось, что максимальный контраст структур на Солнце повторился примерно через 300 с. Таким методом впервые были обнаружены пятиминутные колебания на Солнце.



Доплерограмма с постоянно увеличивающимся временем запаздывания. Снимки левого края получены практически одновременно (при их наложении контраст усилился) и демонстрируют распределение реальных лучевых скоростей вертикальных движений. На правом краю контраст изображения снова увеличивается по достижении разницы во времени около 300 с. Отсюда следует, что характер распределения лучевых скоростей вещества Солнца повторяется примерно через 300 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕЛИОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К важнейшим результатам гелиосейсмологии относятся следующие:

– определение глубины конвективной зоны на Солнце;

– построение зависимости скорости звука от расстояния до центра;

– определение скорости дифференциального вращения в недрах Солнца;

– томография локальных магнитных полей в активных областях;

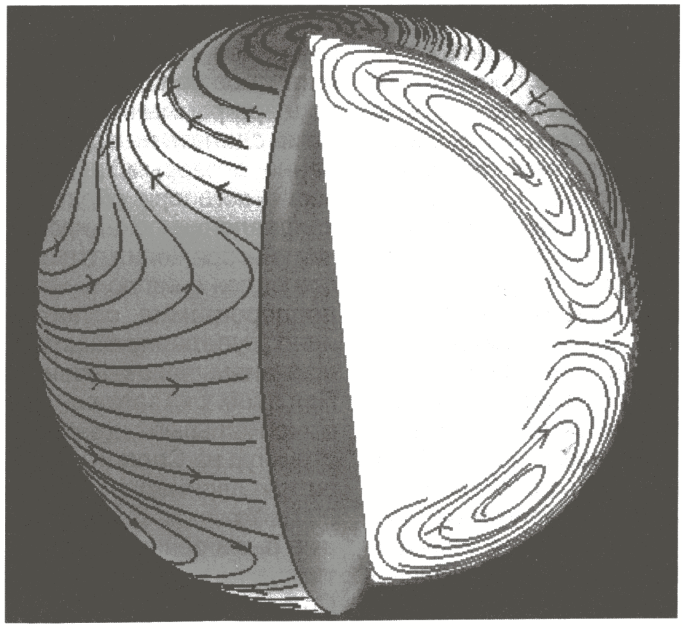
– томография подфотосферных полей локальных скоростей;

– исследование зависимости параметров колебаний от цикла солнечной активности.

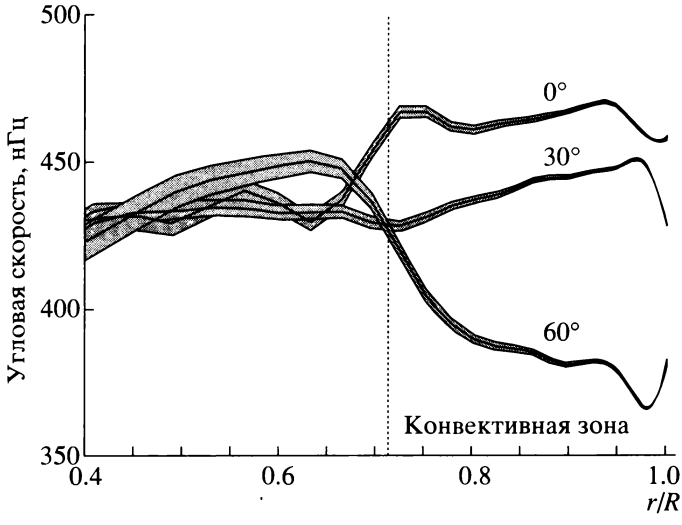
ГАИШ МГУ внес свой вклад в эти исследования. Наиболее важные из них:

– уточнение модели внутреннего строения Солнца, в первую очередь положения основания конвективной зоны. Его средняя точка оказалась на глубине 0.29 $R_\odot$, то есть почти 200 тыс. км;

– удалось восстановить зависимость скорости звука от расстояния до центра Солнца на интервале от 0.2 и примерно до 0.98 $R_\odot$. Это очень важ-



Модель, показывающая траектории потоков плазмы внутри Солнца. Картина восстановлена на основании гелиосейсмологических данных о вращении Солнца на разных глубинах.



Зависимость угловой скорости вращения солнечного вещества от расстояния до центра на гелиографических широтах 0°, 30° и 60°. По результатам исследований частот звуковых волн установлено, что наблюдаемое дифференциальное вращение Солнца сохраняется и под фотосферой в конвективной зоне. Под конвективной зоной, глубже 0.25 $R_\odot$, вращение становится почти однородным, и основная масса Солнца вращается как твердое тело. По оси абсцисс – расстояние от центра, по оси ординат – угловая скорость вращения.

ный параметр, поскольку он непосредственно связан с температурой в недрах Солнца и позволяет проверить результаты расчетов параметров его стандартной модели. Значение этого вывода в том, что он исключает множество "нестандартных" моделей, предложенных в связи с недостаточностью наблюдаемого потока солнечных нейтрино, проблема объяснения которого все еще остается важной задачей физики и астрофизики;

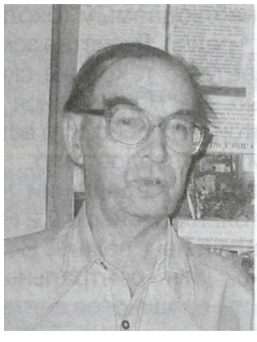
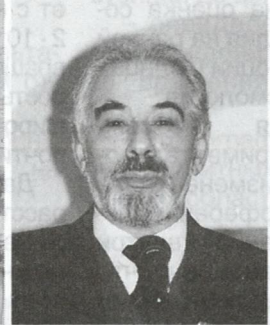
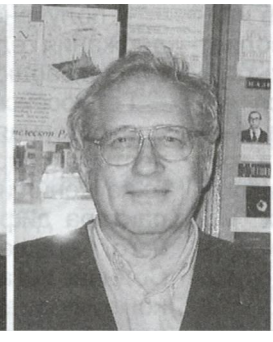
– получена оценка содержания гелия на ранней стадии эволюции Солнца.

Гелиосейсмология – единственная возможность экспериментального изучения изменения характера дифференциального вращения внутри Солнца. Установлено, что конвективная зона сохраняет дифференциальный характер вращения наружных слоев. Среднее значение угловой скорости на экваторе совпадает с наблюдаемым (около $2 \cdot 10^{-6}$ рад/с). Лучистая зона вращается с такой же скоростью, не меняющейся с широтой и глубиной, то есть почти как твердое тело.

Данные о вращении на расстояниях меньше 0.2 $R_\odot$ от центра ненадежны. Возможно, эти центральные области вращаются с угловой скоростью в 1.5–2 раза большей, чем остальные слои.

Становление всеволновой астрономии в ГАИШ

В. Ф. ЕСИПОВ,
кандидат физико-математических наук
Л. М. ГИНДИЛИС,
кандидат физико-математических наук
А. Г. ГОРШКОВ,
кандидат физико-математических наук
Г.М. РУДНИЦКИЙ,
кандидат физико-математических наук

Отдел радиоастрономии в ГАИШ был создан в 1953 г. по инициативе выдающегося астрофизика И.С. Шкловского. За истекшие годы сотрудники Отдела выполнили экспериментальные и теоретические исследования, охватывающие многие проблемы современной астрофизики. Радиоастрономические наблюдения активно ведутся на российских и зарубежных радиотелескопах. Благодаря широте научных интересов И.С. Шкловского тематика Отдела с самого начала не ограничивалась только радиоастрономией. Проводятся работы в различных диапазонах спектра: оптическом, инфракрасном и рентгеновском. Отдел участвовал во многих космических экспериментах на искусственных спутниках Земли и автоматических межпланетных станциях, запущенных к Луне, Марсу и Венере. Разнообразны и астрономические объекты, изучаемые в Отделе, – Солнце, планеты, звезды, межзвездная среда, галактики, квазары. Исследования сотрудников Отдела по космологии, поиску внеземных цивилизаций известны во всем мире. Весóм их вклад в разработку и создание радиотелескопов и радиоастрономической аппаратуры, а также приборов оптической спектроскопии высокого разрешения. Отдел радиоастрономии стал универсальным, что дает право называть его Отделом всеволновой астрономии ГАИШ.

© Есипов В.Ф., Гиндилис Л.М., Горшков А.Г., Рудницкий Г.М.

Сотрудники Отдела радиоастрономии (слева направо) В.И. Мороз, В.Ф. Есипов, И.С. Шкловский, В.Г. Курт, П.В. Щеглов. 1959 г.

У ИСТОКОВ РАДИОАСТРОНОМИИ

Первыми сотрудниками Отдела радиоастрономии – ныне одного из крупнейших в ГАИШ – стали Б.М. Чихачев и студент 4-го курса механико-математического факультета МГУ Н.С. Кардашёв (Земля и Вселенная, 2002, № 3), зачисленный в Отдел лаборантом, ныне академик РАН, директор Астрокосмического центра Физического института имени П.Н. Лебедева РАН. Будучи теоретиком, **И.С. Шкловский** (Земля и Вселенная, 1976, № 4; 1991, № 6; 2006, № 4) считал, что прежде всего необходимо развивать экспериментальные исследования астрономических объектов, причем во всех диапазонах электромагнитных волн. Только всеволновая астрономия, по его мнению, давала возможность построить надежную модель объекта и получить окончательный ответ на вопрос: "Что это такое?"

Во второй половине 50-х гг. прошлого века число сотрудников Отдела возросло. Большинство из них – ученики Шкловского. В.И. Мороз создал группу инфракрасной астрономии, В.Г. Курт занялся внеатмосферной астрономией, Н.С. Кардашёв, В.И. Слыш, Г.Б. Шоломицкий, В.Н. Курильчик, М.И. Пащенко посвятили себя радиоастрономии, П.В. Щеглов и Т.А. Лозинская – оптической интерферометрии, В.Ф. Есипов – оптической спектроскопии, Л.М. Гиндилис – проблеме SETI. Как сказала Т.А. Лозинская, *"никто из них не сошел с намеченного пути, хотя зачастую тогда это был еще не путь, а слабенькая тропинка"* (Разум. Жизнь. Вселенная. С.: Янус, 1996).

В 1966 г. И.С. Шкловскому предложили организовать и возглавить Отдел

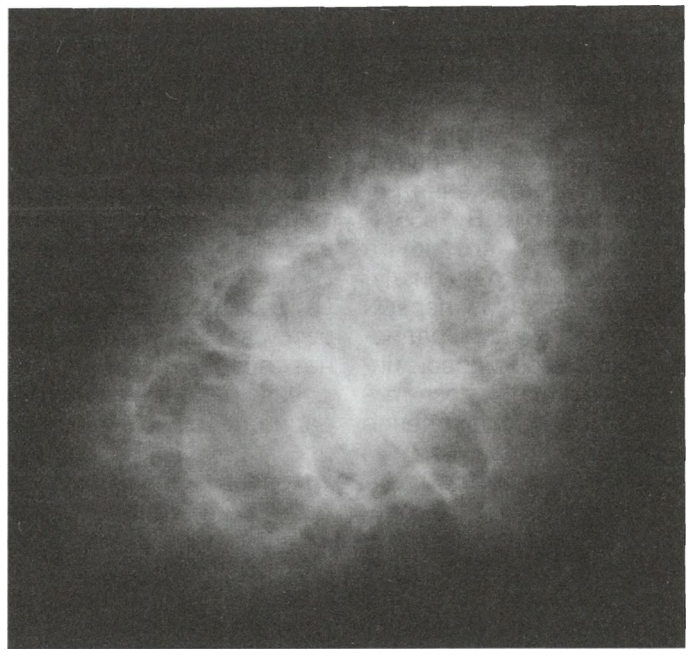
астрофизики во вновь создаваемом Институте космических исследований (ИКИ) АН СССР. Вместе с И.С. Шкловским в ИКИ перешли ведущие сотрудники Отдела радиоастрономии ГАИШ Н.С. Кардашёв, В.И. Мороз, В.Г. Курт, В.И. Слыш, которые возглавили в ИКИ лаборатории. В ГАИШ осталась группа инфракрасной астрономии, изучающая переменные звезды и активные ядра галактик, несколько оптических групп, ведущих исследования различных небесных объектов в основном с помощью 1.25-м телескопа ЗТЭ Крымской лаборатории ГАИШ, небольшая группа рентгеновской астрономии, работающая в тесном контакте с Отделом астрофизики ИКИ, и три радиоастрономические группы: РАТАН-600, спектральной радиоастрономии и длинноволновой радиоастрономии, ведущая исследования с борта космических аппаратов. Эта структура сохраняется и в настоящее время. И.С. Шкловский после перехода в ИКИ продолжал руководить Отделом радиоастрономии ГАИШ на общественных началах. С 1985 г. обязанности заведующего Отделом в ГАИШ исполнял **В.Ф. Есипов**, в 1992 г. он стал заведующим Отделом.

ИССЛЕДОВАНИЯ В РАДИОДИАПАЗОНЕ

Первые радиоастрономические работы И.С. Шкловского были выполнены еще во второй половине 40-х гг. прошлого века, когда стали известны результаты наблюдений радиоизлучения Солнца и Галактики, проведенных в ряде стран в период Второй мировой войны. Шкловский показал, что солнечное радиоизлучение содержит две составляющие различной природы – *тепловое радиоизлучение спокойного Солнца* и *спорадическое солнечное радиоизлучение*, связанное с плазменными колебаниями. Он сделал фундаментальный вывод о том, что источником радиоизлучения Солнца являются внешние слои его атмосферы – хромосфера и корона. Это блестяще подтвердилось в 1947 г. во время экспедиции в Бразилию на теплоходе "Александр Грибоедов" для радионаблюдений солнечного затмения. Экспедиция, в которой участвовал и И.С. Шкловский, положила начало развитию отечественной экспериментальной радиоастрономии.

В те же годы Иосиф Самуилович занялся галактической радиоастрономией. После того как стала известна идея голландского астронома ван де Хюлста о принципиальной возможности наблюдения радиолинии водорода на волне 21 см, Шкловский вычислил ожидаемую интенсивность этой линии. В 1951 г. линию 21 см почти одновременно обнаружили в США, Англии и Австралии. Тогда же Шкловский предложил наблюдать радиолинии межзвездных молекул. Он рассчитал частоту и интенсивность линии гидроксила (OH) на волне 18 см, которая была открыта радиоастрономами США в 1963 г. Это имело огромное значение, так как вскоре в линиях гидроксила обнаружили эффект космического мазера (Земля и Вселенная, 1998, № 1). Источники мазерного излучения оказались тесно связанными с процессами звездообразования, на что также впервые указал Шкловский в 1966 г. Вскоре начался бурный расцвет молекулярной астрорадиоспектроскопии, превратившейся в одно из важнейших направлений радиоастрономии.

В начале 1950-х гг. И.С. Шкловский предположил, что у нашей Галактики есть корона, образованная радиоизлучением. В 1957 г. он и С.Б. Пикельнер детально развили теорию радиокороны Галактики. Данное открытие сыграло важную роль в развитии теории нетеплового радиоизлучения Галактики. Была показана несостоятельность "радиозвездной" гипотезы, в которой это излучение объяснялось существованием гипотетических "радиозвезд". И.С. Шкловский внес большой вклад в обоснование и применение теории синхротронного радиоизлучения (излучения релятивистских электронов в магнитном поле). Он показал, что радиоизлучение галактической короны можно трактовать как отражение электронной компоненты космических лу-



Так выглядит в радиодиапазоне на волне 6 см Крабовидная туманность – остаток вспышки Сверхновой 1054 г. в созвездии Тельца. Радиоизлучение создается релятивистскими электронами, движущимися в магнитном поле со скоростями, близкими к скорости света. Источник электронов – быстро вращающаяся нейтронная звезда – пульсар. Механизм радиоизлучения Крабовидной туманности был впервые предложен и рассчитан И.С. Шкловским в 1953 г. Изображение получено на радиоинтерферометре VLA (США). Astrophys. 1. 560, 254, 2001.

чей (Земля и Вселенная, 2006, № 3). Однако оставалась нерешенной проблема происхождения космических лучей. В 1953 г. И.С. Шкловский опубликовал важную работу, в основу которой легла синхротронная теория для оценки энергетики остатков вспышек сверхновых. Он показал, что при каждой вспышке рождаются релятивистские частицы с суммарной энергией примерно 10^{48} эрг. Для оценки эффективности этого процесса в образовании космических лучей надо было знать частоту вспышек сверхновых в Галактике. Как раз к этому времени относится увлечение Шкловского историческими хрониками, в которых упоминается о вспышках сверхновых. Он был первым из радиоастрономов, кто обратил внимание на ряд вспышек (Сверхновая 185 г. в созвездии Центавра, Сверхновая 1006 г. в созвездии Волка и другие) и предложил искать на месте этих сверхновых радиоисточники, которые впоследствии, действительно, были там обнаружены. Привлечение данных об исторических вспышках сверхновых позволило Шкловскому повысить почти на порядок принятую ранее оценку частоты вспышек. Оказалось, что вспышки сверхновых полностью компенсируют убыль энергии космических лучей за счет ядерных столкновений. Так возникла радиоастрономическая теория происхождения космических лучей. К этому же периоду относится очень важное исследование Шкловским природы излучения Крабовидной туманности. В начале 1953 г. он объяснил радиоизлучение Крабовидной туманности действием синхротронного механизма. Однако природа оптического излучения все еще оставалась неясной. И.С. Шкловский подошел к этой проблеме с неожиданной стороны, задав вопрос: нельзя ли считать оптический континуум туманности продолжением синхротронного излучения из радиодиапазона в оптическую область спектра? Расчеты полностью подтвердили эту догадку. Таким образом, Шкловский впервые развил концепцию единого механизма излучения от оптического до радиодиапазона.

В 1953–1954 гг. И.С. Шкловский прочел на Астрономическом отделении мехмата МГУ первый в СССР курс радиоастрономии. Кроме студентов его слушали научные сотрудники ряда учреждений Москвы, начинающие заниматься радиоастрономией. В 1953 г. вышла

книга "Радиоастрономия" И.С. Шкловского. Хотя формально она считалась научно-популярной, в ней на высоком научном уровне излагались основные методы и достижения радиоастрономии. В 1956 г. опубликована его книга "Космическое радиоизлучение" – одна из первых монографий по радиоастрономии в мировой литературе. По ней воспитывалось целое поколение радиоастрономов.

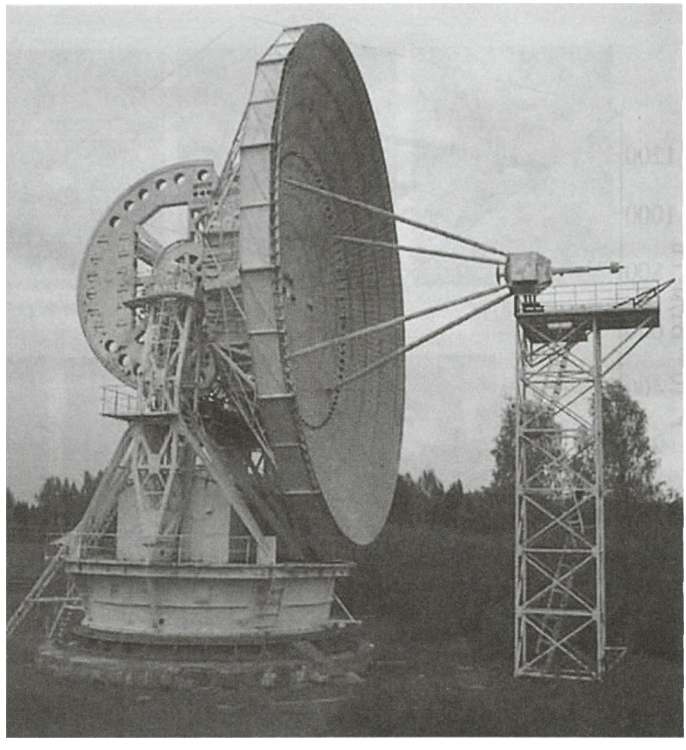
После открытия квазаров в 1963 г. И.С. Шкловский высказал гипотезу о переменности их оптического излучения. По его предложению сотрудники ГАИШ Ю.Н. Ефремов и А.С. Шаров изучили старые фотографии квазара 3С273 и, действительно, обнаружили переменность излучения этого объекта. Далее в серии работ 1963–1964 гг. Шкловский показал, что химический состав квазаров тождественен солнечному. В 1965 г. он предсказал переменность радиоизлучения активных ядер галактик и квазаров. И.С. Шкловский развил теорию этого эффекта, которая в дальнейшем полностью подтвердилась.

В 1965 г. было открыто космологическое реликтовое радиоизлучение. Иосиф Самуилович объяснил аномальную населенность энергетических уровней молекулы циана в межзвездной среде воздействием реликтового излучения в миллиметровом диапазоне. Он предложил метод определения температуры реликтового излучения по интенсивности оптических молекулярных линий межзвездного газа. Кстати, и сам термин "реликтовое" был введен Шкловским.

Со второй половины 1950-х гг. началась активная научная деятельность Н.С. Кардашёва. Его важнейшей теоретической работой в эти годы стал расчет возможности наблюдения рекомбинационных радиолиний, возникающих при переходах между высоковозбужденными состояниями атома водорода. Две группы советских радиоастрономов, в Пулково и ФИАН, обнаружили новые радиолинии. Авторы этой работы (Н.С. Кардашёв, Э.В. Бороздич, А.Ф. Дравских, З.В. Дравских и Р.Л. Сороченко) были удостоены "Диплома на открытие" с приоритетом от 31 августа 1964 г. За цикл работ "Открытие и исследование спектральных радиолиний высоковозбужденных атомов (рекомбинационных радиолиний)" группе радиоастрономов (в их числе Н.С. Кардашёву и Е.Е. Лехту) присуждена Государственная премия СССР 1988 г.

К концу 1950-х гг. в Отделе радиоастрономии завершилось изготовление приемника, работающего на волне 21 см, и в 1960 г. начались наблюдения с этим прибором на радиотелескопе РТ-22 в Пущино. Программой руководил Н.С. Кардашёв. Были измерены потоки радиоизлучения большого числа диффузных туманностей в непрерывном спектре на волне 21 см. Кроме того, проводились наблюдения на радиотелескопах Крымской станции ФИАН. Исследовалось распределение нейтрального водорода в нашей Галактике. В наблюдениях принимали участие Н.С. Кардашёв, О.Н. Генералов, Т.А. Лозинская, В.Н. Курильчик, Е.Е. Лехт. Обработкой полученного материала занимались Н.Ф. Слепцова и Т.А. Лозинская. По результатам этих наблюдений построили карту распределения водорода в Галактике, получили величину отклонения газового диска от галактической плоскости для различных расстояний от центра Галактики (Н.С. Кардашёв, Т.А. Лозинская). Наблюдения, выполненные в Крыму, позволили значительно уточнить распределение нейтрального водорода в нашей звездной системе.

В 1965 г. Н.С. Кардашёв совместно с Л.И. Матвеенко и Г.Б. Шоломицким предложил идею принципиально нового радиоинтерферометра с независимой регистрацией данных на нескольких антеннах, разнесенных на межконтинентальные расстояния (Земля и Вселенная, 2003, № 4). Это помогло в десятки тысяч раз превысить угловое разрешение оптических телескопов. Новая идея была вскоре реализована на нескольких зарубежных радиотелескопах. Сегодня при исследовании активных ядер галактик, квазаров и мазерных радиоисточников в зонах звездообразования используется радиоинтер-



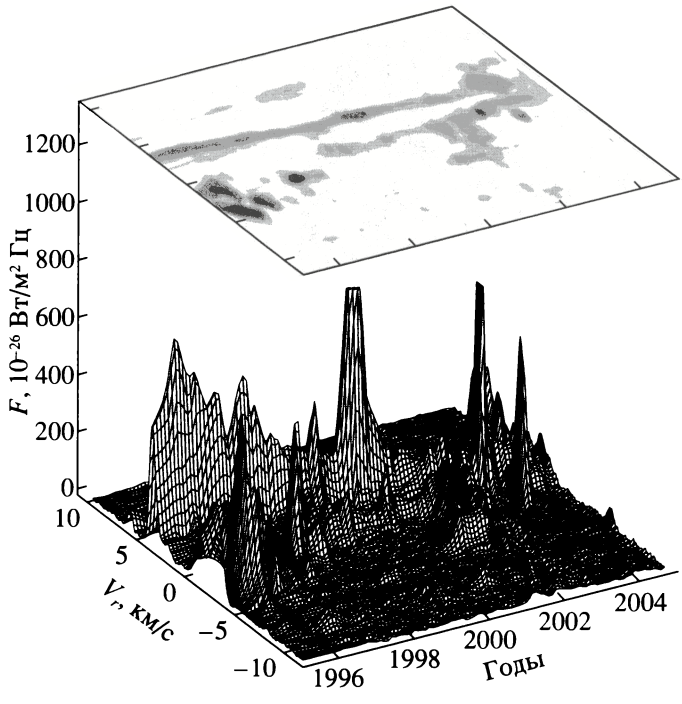
Радиотелескоп РТ-22 Пущинской радиоастрономической обсерватории АКЦ ФИАН, (Пущино, Московская область). На нем в 1960-е гг. проведены измерения потоков радиоизлучения диффузных туманностей в непрерывном спектре на волне 21 см для составления карты распределения нейтрального водорода в нашей Галактике. В настоящее время на РТ-22 ведутся регулярные исследования переменности излучения космических мазерных радиоисточников в линии молекулы воды на волне 1.35 см.

ферометр именно такого типа.

За два с лишним года до открытия пульсаров, в том же 1965 г., Н.С. Кардашёв построил модель генерации магнитного поля нейтронной звездой (пульсаром!) в Крабовидной туманности. Конечно, самого термина "пульсар" в то время не существовало. Кардашёв показал, что нейтронная звезда, образовавшаяся после вспышки Сверхновой 1054 г., должна обладать очень сильным магнитным полем. При быстром вращении нейтронной звезды вокруг своей оси (с периодом меньше 1 с) происходит "наматывание" силовых линий магнитного поля в связанной со звездой оболочке. Это магнитное поле Крабовидной туманности. Теорию излучения пульсара в ее центре развил позднее И.С. Шкловский (1970).

С 1962 г. в Отделе радиоастрономии начались наблюдения на крупнейших для того времени антеннах Центра дальней космической связи (ЦДКС) в Евпатории на волнах 32 и 7 см. Г.Б. Шоломицкий изучал радиоисточники в скоплениях галактик, В.Н. Курильчик детально исследовал радиоизлучение спиральных галактик, а Г.С. Хромов – планетарных туманностей. Важное значение имели наблюдения покрытия Луной квазара 3С273, в результате которых была выделена компактная составляющая его радиоизлучения. Особый интерес представляет история обнаружения Г.Б. Шоломицким переменности потока радиоизлучения СТА 102[1]. Н.С. Кардашёв, основываясь на предположении об искусственной природе этого радиоисточника (возможно, управляемого внеземной цивилизацией), указал на возможность периодических изменений его потока. Наблюдения, выполненные Шоломицким в 1964–1965 гг., подтвердили периодические изменения (период 102 дня). Лишь в 1972 г. переменность СТА 102 переоткрыл канадский радиоастроном Дж. Ханстед, а затем и другие исследователи. В 1990 г. результаты, полученные Шоломицким, внесены в Государственный реестр открытий под № 391.

[1] Радиоисточник № 102 из каталога А Калифорнийского технологического института, расположенный в созвездии Пегаса.

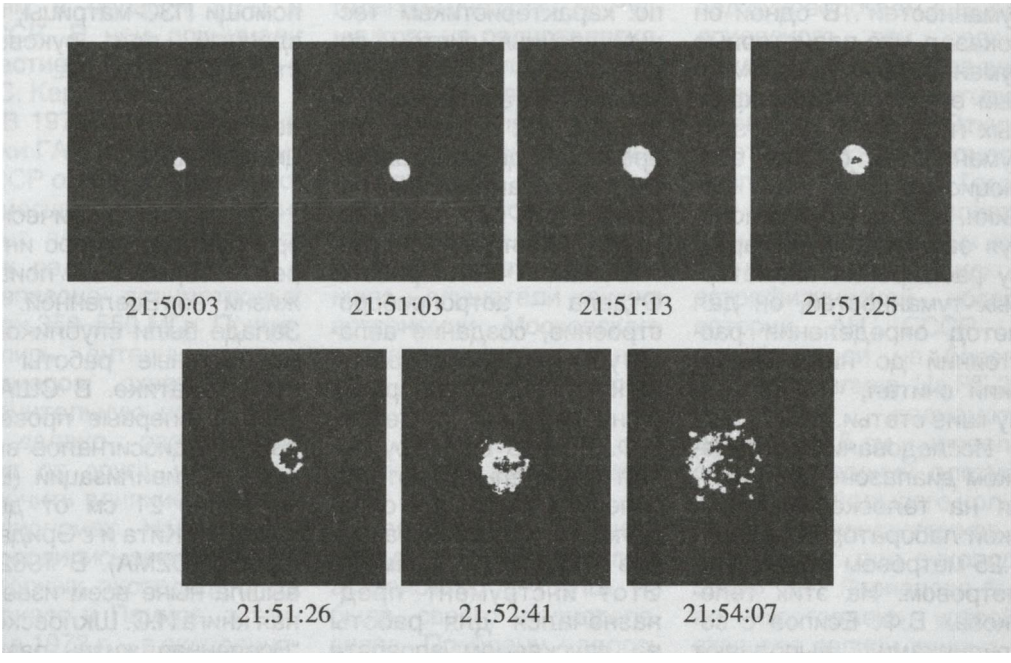


Пространственный график, представляющий результаты наблюдений изменения мазерного радиоизлучения в линии воды на волне 1.35 см в области звездообразования ON2 (радиоисточник № 2 из каталога Обсерватории Онсала, Швеция) в созвездии Лебедя. "Вершины" графика – вспышки излучения, произошедшие в мазере. Такие вспышки отражают нестационарные процессы в веществе, окружающем молодые звезды. Данные получены в 1995–2004 гг. на радиотелескопе РТ-22 в Пущино радиоастрономами ГАИШ и ФИАН. По горизонтальным осям отложены годы наблюдения и лучевая скорость (v_r) мазерного радиоизлучения, по вертикали – плотность потока энергии излучения (F). На плоскости сверху оттенки серого цвета различной насыщенности отражают в проекции уровень плотности потока радиоизлучения с данной лучевой скоростью в определенный момент времени.

Одно из традиционных направлений работы в Отделе – спектральная радиоастрономия. Помимо линии 21 см нейтрального водорода и рекомбинационных радиолиний высоковозбужденных атомов изучаются космические источники мазерного радиоизлучения в линиях молекул. Под руководством М.И. Пащенко был создан многоканальный спектральный радиометр с высоким частотным разрешением. В 1969 г. прибор установили на крупнейшем радиотелескопе системы Крауса Радиоастрономической обсерватории Нансэ (Франция), где в течение ряда лет сотрудники Отдела радиоастрономии ГАИШ совместно с французскими радиоастрономами использовали его для наблюдений космических мазерных радиоисточников в линии гидроксила на волне 18 см. Последние 26 лет сотрудники Отдела М.И. Пащенко, Е.Е. Лехт и Г.М. Рудницкий вместе с коллегами АКЦ ФИАН проводят регулярный мониторинг переменности более ста космических источников мазерного радиоизлучения в линии молекулы воды на волне 1.35 см на радиотелескопе РТ-22 Пущинской радиоастрономической обсерватории.

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Во второй половине 1950-х гг. Отдел радиоастрономии ГАИШ активно включился в советскую программу космических исследований. И.С. Шкловский в тесном контакте с С.П. Королёвым участвовал в планировании многих научных экспериментов. Первые годы сотрудники Отдела занимались оптическими наблюдениями ИСЗ. В начале 1958 г. С.П. Королёв поставил задачу слежения в видимой области спектра за КА, совершающим полет к Луне. И.С. Шкловский предложил использовать искусственную натриевую комету. Предложение было принято. В обеспечении технической части проекта (создание испарителя натрия и разработка телескопов с электронно-оптическими преобразователями для наблюдения



"Искусственная комета" – облако натрия, выброшенное из космического аппарата "Луна-2". За четыре минуты, разделяющие два крайних снимка, диаметр облака возрос до 10 тыс. км. Наблюдения этого облака позволили точно измерить траекториию КА к Луне. Фото В.Ф. Есипова и В.И. Мороза.

"кометы") участвовали В.Г. Курт, В.И. Мороз и В.Ф. Есипов. В 1959 г. удалось наблюдать натриевое облако, выброшенное с космического аппарата "Луна-2" на пути к естественному спутнику Земли, что позволило точно измерить траекторию КА. В 1960 г. за эту работу И.С. Шкловский был удостоен Ленинской премии.

В начале 60-х гг. в Отделе радиоастрономии приступили к астрофизическим экспериментам на космических аппаратах. Н.С. Кардашёв и В.И. Слыш начали разработку космического радиотелескопа для наблюдения длинноволнового радиоизлучения на частотах ниже критической (недоступной для наблюдений с поверхности Земли частоты ионосферы). Первые успешные наблюдения радиоизлучения на волнах 150 и 1500 м с помощью аппаратуры, созданной в ГАИШ, были проведены с борта АМС "Зонд-2" и "Венера-2" в 1964–1965 гг.

Исследования радиоизлучения Солнца и магнитосферы Земли в низкочастотном радиодиапазоне долгие годы вели В.П. Григорьева и С.В. Миронов. В настоящее время работу продолжают В.Н. Курильчик и И.Ф. Копаева. Аппаратура для наблюдений радиоизлучения в километровом диапазоне устанавливалась на борту спутников серии "Прогноз" и спутнике, запущенном в рамках международного проекта "Интербол-1". Низкочастотные приемники ГАИШ были размещены на десяти космических аппаратах, что позволило получить ценные сведения о связи процессов, происходящих в земной магнитосфере, с активными процессами на Солнце.

ВСЕВОЛНОВАЯ АСТРОНОМИЯ

В 1956 г. в "Астрономическом журнале" были опубликованы две важнейшие работы И.С. Шкловского: "О природе планетарных туманностей и их ядер" и "Новая шкала расстояний до планетарных

туманностей". В одной он показал, что планетарные туманности – закономерный этап эволюции красных гигантов и ядра этих туманностей быстро эволюционируют в белые карлики. А в другой, используя эволюционную картину расширения планетарных туманностей, он дал метод определения расстояний до них. Шкловский считал, что это его лучшие статьи.

Исследования в оптическом диапазоне проводятся на телескопах Крымской лаборатории ГАИШ – 1.25-метровом и 60-сантиметровом. На этих телескопах В.Ф. Есипов с сотрудниками выполняют спектроскопические наблюдения нестационарных объектов: переменных звезд типа Миры Кита, новых и сверхновых звезд, протопланетарных туманностей в оптическом диапазоне. Т.А. Лозинская и Т.Г. Ситник исследуют динамику больших газовых комплексов в нашей и других галактиках. Еще одно направление оптической астрономии в Отделе – изучение двойных звезд – ведет Н.И. Шатский.

Одна из давних тем Отдела – инфракрасная астрономия. На телескопах Крымской лаборатории ГАИШ сотрудники Отдела О.Г. Таранова, А.М. Татарников и А.А. Татарникова регулярно выполняют инфракрасную фотометрию нестационарных звезд (симбиотических, переменных типа Миры Кита) и активных галактических ядер.

Е.К. Шеффер исследует рентгеновские источники по характеристикам тесных двойных систем, содержащих нейтронную звезду с аккреционным диском. Он показал, что прецессия диска объясняет ряд характеристик переменности рентгеновского излучения таких систем.

Важная часть работы Отдела – астроприборостроение, создание аппаратуры для исследований на космических аппаратах и наблюдений с Земли. В.Ф. Есипов сконструировал оригинальный автоматический прибор для определения угловых размеров Фобоса и Деймоса. Этот инструмент предназначался для работы на спускаемом аппарате "Марс-1" (к сожалению, миссия "Марса" закончилась неудачей). В Отделе были созданы также приемники низкочастотного радиоизлучения для спутников "Прогноз" и "Интербол-1" (приемник АКР-Х). Много работали над разработкой аппаратуры П.В. Щеглов, Т.А. Лозинская, А.А. Токовинин и А.Э. Наджип. Для оптической спектроскопии высокого разрешения в ГАИШ изготовлялись и широко использовались интерферометры Фабри–Перо, а для фотографирования предельно слабых объектов – электронно-оптические преобразователи (ЭОП). Сотрудники Отдела изготовили "звездный спидометр" для оперативного высокоточного измерения лучевых скоростей звезд. В оптическом диапазоне используется дифракционный спектрограф с регистрацией при помощи ПЗС-матрицы, созданный под руководством В.Ф. Есипова.

ПОИСК ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

С началом космической эры заметно возрос интерес к проблеме поиска жизни во Вселенной. На Западе были опубликованы научные работы по этой тематике. В США в 1960 г. впервые провели поиск радиосигналов внеземных цивилизаций (ВЦ) на волне 21 см от двух звезд – τ Кита и ε Эридана (проект OZMA). В 1962 г. вышла ныне всем известная книга И.С. Шкловского "Вселенная, жизнь, разум" (М.: Изд-во АН СССР), которая оказала значительное влияние на развитие исследований по проблеме SETI в Советском Союзе. В 1963 г. Н.С. Кардашёв подробно проанализировал технические возможности приема информации от внеземных цивилизаций. Его основной вывод состоял в том, что уровень нашей земной техники, используемой в радиоастрономии, позволяет обнаружить радиосигналы высокоразвитых сверхцивилизаций на любых расстояниях в пределах нашей Галактики или даже в соседних галактиках. В том же году в ГАИШ образовалась самодеятельная инициативная группа (Н.С. Кардашёв, Л.М. Гиндилис, В.И. Слыш). В мае 1964 г. в Бюраканской астрофизической обсерватории состоялось научное совещание, которое положило начало исследова-

ниям в области SETI в СССР. В нем принимали участие И.С. Шкловский и Н.С. Кардашёв.

В 1972–1973 гг. сотрудники ГАИШ МГУ и ИКИ АН СССР организовали широкомасштабный эксперимент по поиску импульсных радиосигналов ВЦ в диапазоне дециметровых волн 350–550 МГц. Применялись антенны малых размеров, охватывавшие значительную часть неба и далеко разнесенные друг от друга, чтобы исключить влияние местных радиопомех. Наблюдения проводились осенью 1972 г. в горных экспедициях на Кавказе и Памире, а также в 1973 г. – в экспедициях на Кавказе и Камчатке и совместно с французскими учеными (Ж. Стейнберг и другие) на борту АМС "Марс-7". Удалось выявить несколько типов совпадающих сигналов. Часть из них соответствует спорадическому излучению Солнца, другие связаны с излучением ИСЗ.

В настоящее время в Отделе радиоастрономии ГАИШ продолжается поиск внеземных цивилизаций. Им руководит Л.М. Гиндилис, который одновременно возглавляет Научно-культурный центр SETI, базирующийся в Отделе. Регулярно издается "Вестник SETI" – едва ли не единственное периодическое издание, целиком посвященное данной тематике. Л.М. Гиндилис – руководитель Московской открытой экспериментальной образовательной программы "Здравствуй, Галактика!". В последние годы при участии Г.М. Рудницкого на радиотелескопе РТ-22 в Пущино проведен поиск узкополосных сигналов (предполагаемых позывных внеземных цивилизаций) от ближайших звезд на волне 1.35 см. В подготовке программы поиска участвуют школьники – слушатели кружка астрономии Московского городского дворца детского и юношеского творчества.

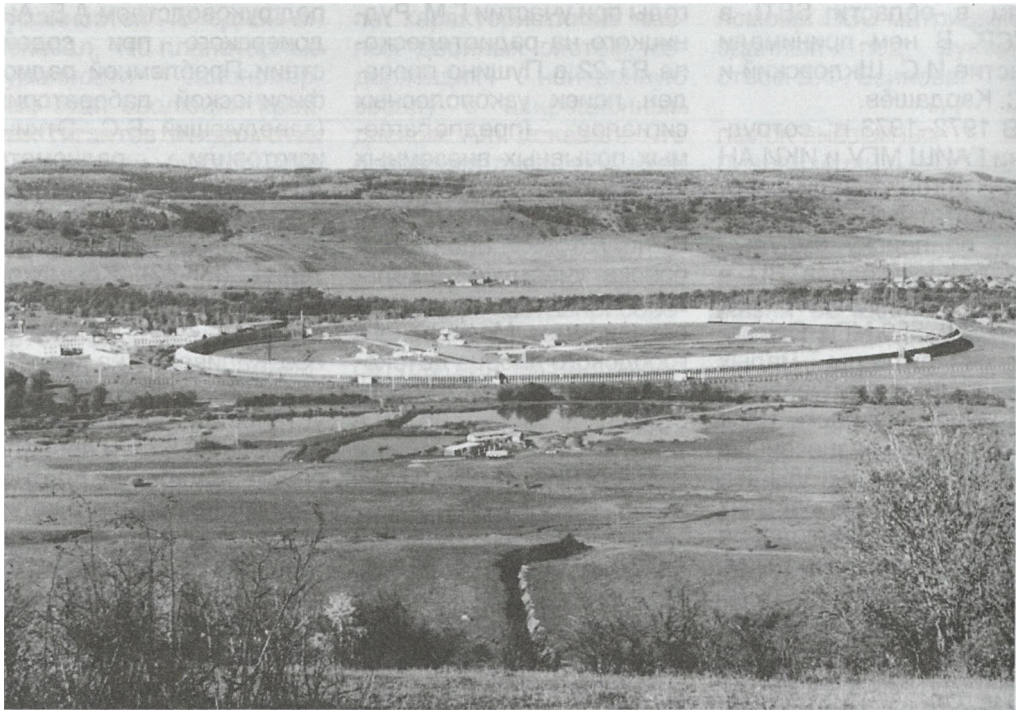
НАБЛЮДЕНИЯ НА РАТАН-600

Несмотря на большой вклад в развитие радиоастрономии, в ГАИШ не было своего радиотелескопа. Проблему удалось частично разрешить, когда Институт принял долевое участие в сооружении радиотелескопа РАТАН-600, благодаря чему получил право постоянно работать на этом инструменте и организовать там собственную наблюдательную базу. В ГАИШ была создана рабочая группа РАТАН, которую в 1974 г. преобразовали в лабораторию "РАТАН-600". Первым заведующим лабораторией стал Л.М. Гиндилис, в 1976 г. его сменил М.Г. Ларионов, в 1987–1992 гг. В.Ф. Есипов совмещал заведование Отделом и лабораторией. С 1992 г. ее возглавляет А.Г. Горшков. Лаборатория "РАТАН-600" и по сей день – неотъемлемая часть Отдела радиоастрономии ГАИШ.

Основные усилия сотрудников лаборатории были направлены на создание радиоастрономического приемника. В 1968 г. под руководством А.Е. Андриевского при содействии Проблемной радиофизической лаборатории (заведующий В.С. Эткин) изготовили радиометр диапазона 3.5 см. Тогда же начала действовать полноповоротная 22-м антенна (РТ-22) Крымской астрофизической обсерватории АН СССР в пос. Кацивели на берегу Голубого залива. На РТ-22 установили радиометр диапзона 3.5 см и провели серию измерений плотности потока большого количества радиоисточников.

В 1969 г. под руководством М.Г. Ларионова было изготовлено устройство для записи данных в цифровом виде на магнитофон и считывания их в компьютер. В апреле–мае 1969 г. с помощью этой аппаратуры на РТ-22 КрАО проведен быстрый обзор части неба. В результате обнаружили 121 источник с плотностью потока больше 1 Ян, из них 67 новых. Это первый успешный опыт обзора неба в Отделе радиоастрономии ГАИШ. Наблюдения на РТ-22 продолжались эпизодически до 1974 г., однако в сантиметровом диапазоне на этом сравнительно небольшом радиотелескопе они уже не удовлетворяли современному уровню. Настало время перехода на новый инструмент РАТАН-600, строительство которого к этому времени заканчивалось (Земля и Вселенная, 1976, № 4).

Первое пробное наблюдение на РАТАН-600 радиоисточника PKS 0521–36 провели сотрудники САО



Радиотелескоп РАТАН-600 Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (станица Зеленчукская, Карачаево-Черкессия), построенный в 1974 г. На РАТАН-600 сотрудниками Отдела радиоастрономии ГАИШ выполнен обзор неба на сантиметровых волнах.

АН СССР 12 июля 1974 г. на волне 4 см. Полностью РАТАН-600 принят в эксплуатацию в 1977 г., но его освоение сотрудники ГАИШ начали в 1975 г. Объем работы был необозримым, и только молодость и энтузиазм сотрудников во главе с В.Р. Амирханяном позволили завершить ее в короткие сроки. Были введены в эксплуатацию радиометры на волны 2, 3.5 и 7.6 см. Разработка систем стыковки аналогового выхода радиометров с компьютером, ввода данных в компьютер и сопряжения с цифровым магнитофоном выполняла группа М.Г. Ларионова. Разработкой математического обеспечения ввода, регистрации и обработки данных в режиме "on line" руководил А.Г. Горшков. Наконец, в 1978 г. начались регулярные наблюдения по программе обзора неба, которая продолжалась до 1987 г. В результате на волне 7.6 см было обнаружено 8511 радиоисточников, из них половина (4151) – неизвестные ранее объекты. В обзоре, получившем название "Зеленчукский", в нашей стране впервые (не считая харьковского обзора в декаметровом диапазоне) обнаружено большое количество радиоисточников.

В 1990-х гг. лаборатория "РАТАН-600" ГАИШ полностью переключилась на исследование нестационарных процессов в дискретных радиоисточниках в широком диапазоне длин волн. Для исследования переменности с периодом меньше суток РАТАН-600 не годится, поскольку он является меридианным инструментом. Исследования быстрой переменности с 2003 г. проводятся на 32-м параболоиде Института прикладной астрономии РАН в обсерватории "Зеленчукская". Наблюдения позволили проследить в ряде источников полный цикл развития изолированных вспышек от возникновения до затухания. А.Г. Горшков и

В.К. Конникова предложили модель, в которой переменность с периодом около четырех дней – следствие мерцания на фронтах ударных волн в джетах радиоисточников. Параллельно исследовались объекты обзора в оптическом диапазоне. В.К. Конникова в результате оптического отождествления всех радиоисточников, исследуемых Отделом выборок, получила около 90 новых отождествлений до 21^m. Для 75 объектов сняты оптические спектры и определены красные смещения. В дальнейшем планируется продолжить изучение переменности радиоисточников всех периодов. Это позволит заглянуть в области, находящиеся в непосредственной близости от "центральной машины" внегалактического радиоисточника, обеспечивающей само существование феномена радиоисточника, и сделать выводы о его природе.

Отдел радиоастрономии моложе Астрономической обсерватории Московского университета почти на век с четвертью. Несмотря на относительную молодость, Отдел прочно занял свое место в научной структуре ГАИШ. И.С. Шкловским и его учениками создана научная школа, одна из лучших в ГАИШ. Сотрудники Отдела активно участвуют и в учебном процессе на Астрономическом отделении физического факультета МГУ. Многие студенты после окончания учебы остаются работать в Отделе. Его горизонты исследования постоянно расширяются, охватывая самые разнообразные объекты Вселенной во всех диапазонах спектра.

Информация

Работа марсоходов

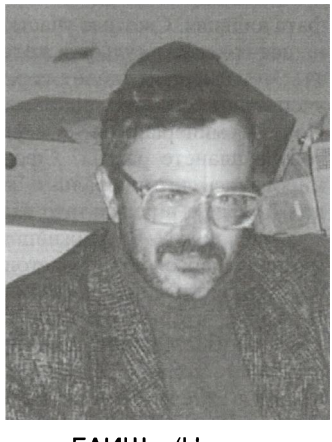
Американские марсоходы "Спирит" и "Оппотьюнити" продолжают исследование марсианской поверхности (Земля и Вселенная, 2005, № 5; 2006, №№ 3, 5). На 885-й сол (марсианский день, июль 2006 г.) пребывания на Марсе "Спирит" подошел к заливу Лоуридж в Южном полушарии, чтобы исследовать разбросанные вокруг камни. Голубоватый цвет камней служит доказательством существования на планете сульфата кальция. Светлые участки почвы содержат сульфат железа. Это открытие ставит перед учеными несколько вопросов. Почему минералогия сульфатов на планете разная? Сформировались ли минералы и залив Лоуридж в результате воздействия воды? В ближайшие месяцы марсоходу предстоит изучать светлые породы залива Лоуридж, чтобы ответить на эти вопросы. "Спирит" остается в районе холмов Хасбенд и МакКул. В течение месяца планируется завершить съемку панорамы, содержащей несколько сот кадров. На другом полушарии Марса "Оппотьюнити" движется по Плато Меридиана (Merdiani Planum) в сторону кратера Виктории, находясь от него на расстоянии около 700 м. Песчаные дюны здесь очень похожи на волны в неспокойном море, а камни – на его берег. По пути марсоход проведет исследования одного из самых молодых кратеров – кратера Бигль. К 5 июня 2006 г. успешно завершилась операция по вызволению "Оппотьюнити" из рыхлого бархана, попавшего в ловушку 24 мая. Специалисты ЦУП направили марсоход на эту дюну, чтобы увеличить выработку электроэнергии. За 2.5 года (к августу 2006 г.) марсоходы прошли более 8 км.

Прес-релизы NASA и JPL,
июль 2006 г.

Музей истории университетской обсерватории и ГАИШ

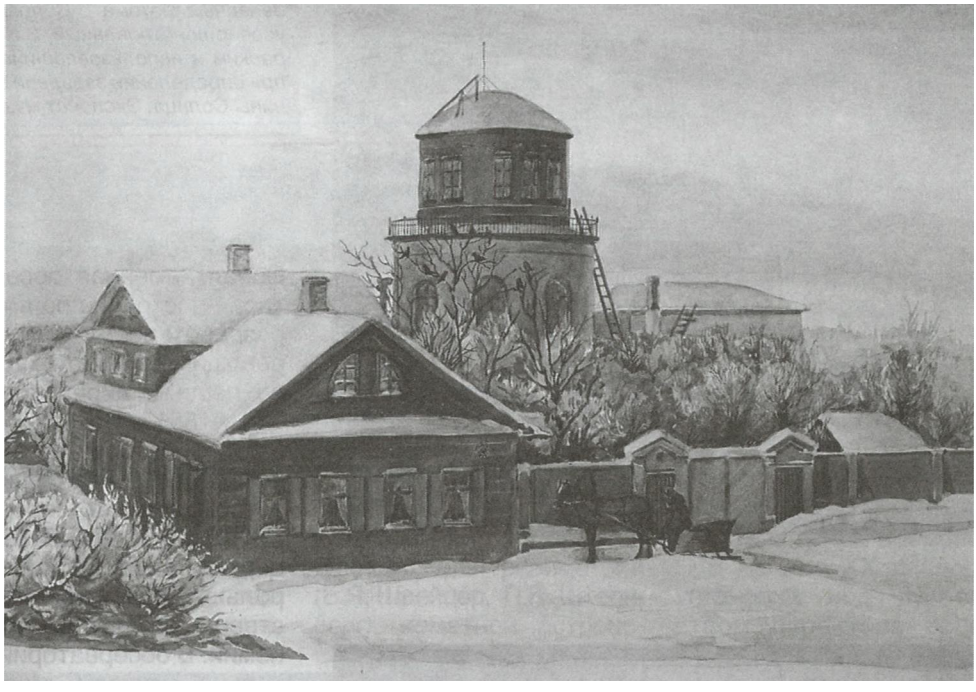
Ю. Л. МЕНЦИН,
кандидат физико-математических наук

Многогранна научно-просветительская деятельность сотрудников Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга. Она включает публикацию научно-популярных книг и статей, выступления в СМИ, занятия со школьниками, поддержку любительской астрономии, а также работу Музея истории университетской обсерватории и ГАИШ, созданного на рубеже 1950–1960-х гг. Главным инициатором открытия музея был Петр Григорьевич Куликовский. Первоначально это был кабинет истории астрономии, который находился в главном здании ГАИШ на Ленинских горах. В конце 1970-х гг. его перевели в главное здание старинной Астрономической обсерватории Московского университета. Ныне это Краснопресненская обсерватория ГАИШ (Нововаганьковский пер., 5), поставленная в 1979 г. на государственную охрану как памятник архитектуры и градостроительства. Историческую, культурную и эстетическую ценность представляет комплекс зданий Краснопресненской обсерватории – сохранившийся уголок старой Москвы. Несомненный интерес вызывает интерьер главного здания обсерватории: винтовые чугунные лестницы и мебель, изготовленная по специальному заказу в конце XIX в. Неподалеку от обсерватории расположены служебные строения и деревянный дом, в котором на протяжении более ста лет жили астрономы и их семьи. Музей ГАИШ позволяет посетителям лучше понять, как жили и работали астрономы Московского университета.

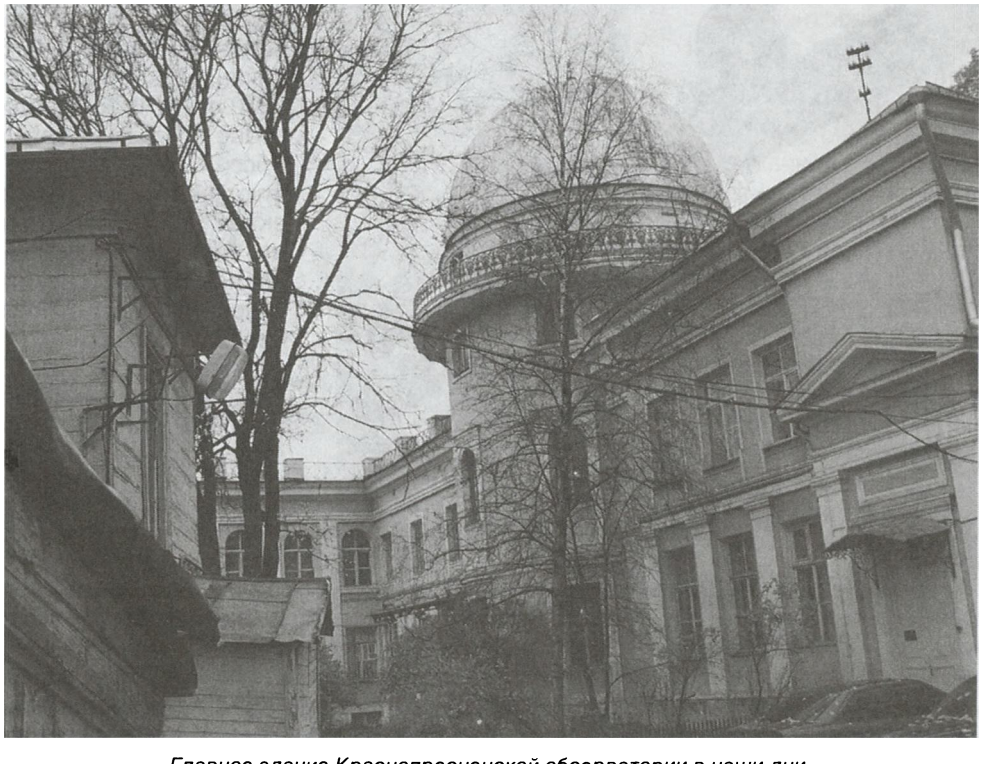


Астрономическая обсерватория МГУ построена в 1831 г. по проекту архитектора Д.Г. Григорьева на участке земли, подаренном Московскому университету в 1827 г. купцом-меценатом З.П. Зосимой. Ранее университет располагал небольшой деревянной обсерваторией (1804) на главном здании университета на Моховой улице, сгоревшем в 1812 г.

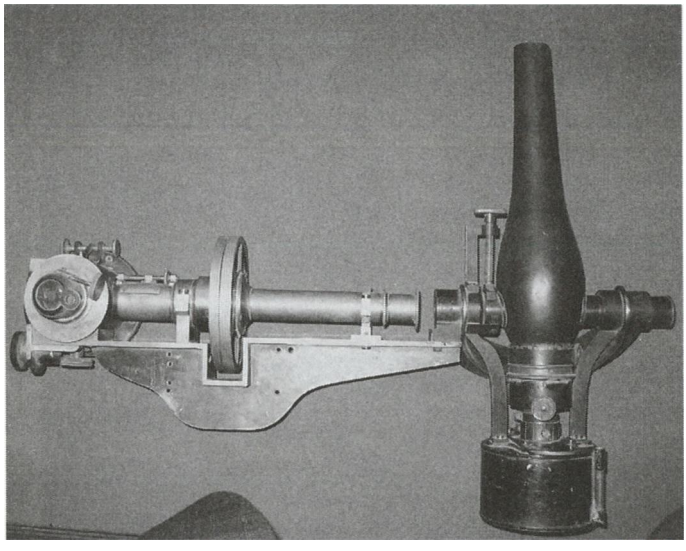
© Менцин Ю.Л.



Астрономическая обсерватория Московского университета на Пресне. Середина XIX в.



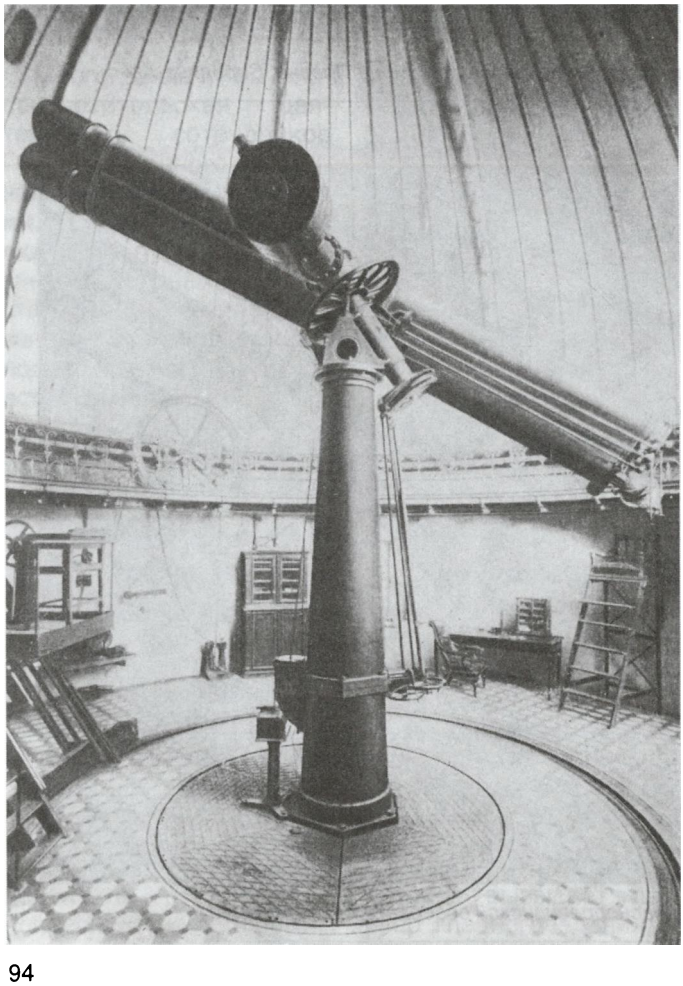
Главное здание Краснопресненской обсерватории в наши дни.



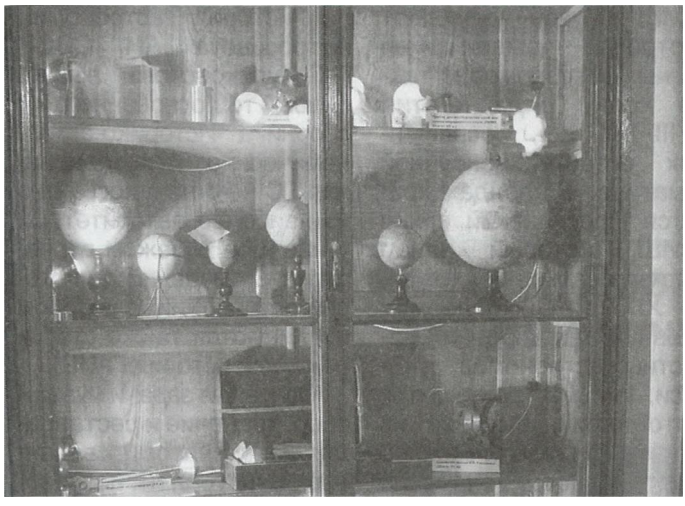
Звездный фотометр Цёллнера, усовершенствованный В.К. Цераским и использовавшийся им при определении звездной величины Солнца. Экспонат музея.

Новая, каменная, обсерватория построена по плану, разработанному Д.М. Перевощиковым, ставшим и ее первым директором в 1831–1851 гг.

Обсерватория на Пресне, открытая московскими астрономами в середине XIX в. (директор Б.Я. Швейцер), сыграла важную роль в развитии отечественной и мировой астрономии. В обсерватории детально изучали Московскую гравитационную аномалию, организовали множество гравиметрических экспедиций в различные регионы России (Ф.А. Бредихин, П.К. Штернберг). В 1870-е гг. Ф.А. Бредихин провел здесь первые в России спектральные наблюдения небесных объектов, включая Солнце, что положило начало становлению Московской научной школы астрофизики. В.К. Цераский открыл серебристые облака (1885), впервые в мире измерил нижнюю границу температуры поверхности Солнца (1895) и определил звездную величину нашего

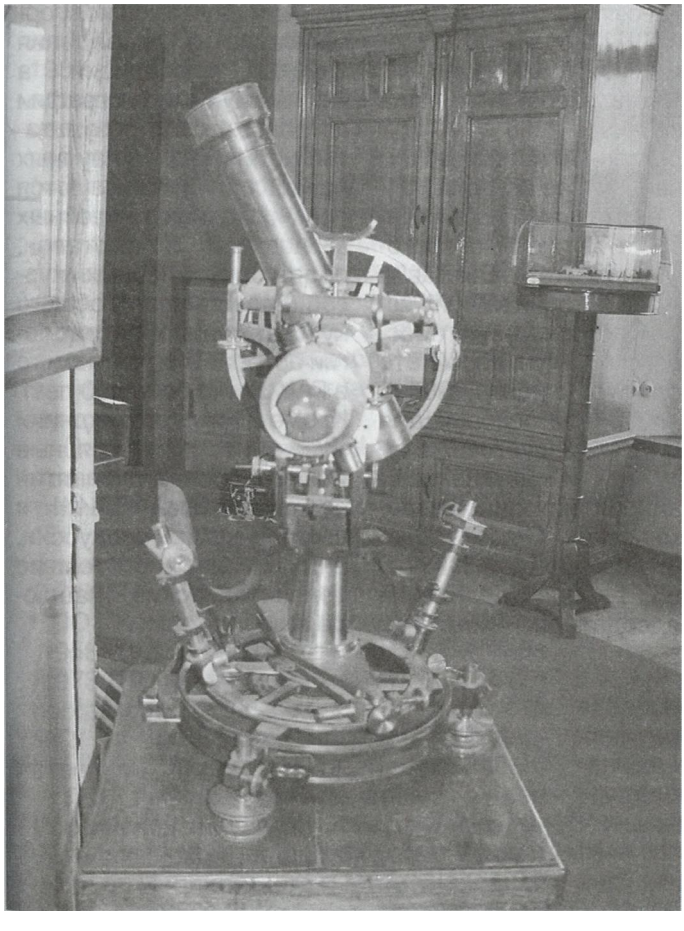


Главный астрономический инструмент Краснопресненской обсерватории – 15-дюймовый двойной телескоп-астрограф для визуальных и фотографических наблюдений.



Фрагмент витрины музея, на полках которой расположены глобусы Земли и Луны, сейсмографы и другие экспонаты.

светила (1903–1905). В предреволюционные десятилетия в стенах обсерватории, помимо школы астрофизики, сформировались школы гравиметрии (Б.Я. Швейцер, П.К. Штернберг), кометной астрономии (Ф.А. Бредихин), отечественной астрофотометрии (А.А. Белопольский, В.К. Цераский, П.К. Штернберг), поиска и исследования переменных звезд (В.К. Цераский, Л.П. Цераская, С.Н. Блажко). С конца XIX в. на обсерватории началась регулярная работа Службы времени.



В начале XX в., после установки под руководством директора обсерватории В.К. Цераского 15-дюймового двойного телескопа-астрографа, обсерватория вошла в число крупнейших астрономических центров мира. В 1931 г. на ее базе был организован ГАИШ, ставший центром астрономических исследований в СССР и современной России. В нем работали такие известные ученые, как В.Г. Фесенков, С.Н. Блажко, Б.А. Воронцов-Вельяминов, А.А. Михайлов, П.П. Паренаго, М.С. Зверев, Б.В. Кукаркин, И.С. Шкловский.

История астрономической обсерватории Московского университета и ГАИШ отражена в экспозициях музея. В числе экспонатов музея немало уникальных. К ним относится упомянутый астрограф с оптикой парижской

Универсал (астрономо-геодезический инструмент) середины XIX в. Экспонат музея.

фирмы братьев Анри и монтировкой знаменитой фирмы братьев Репсольд (Гамбург). Телескоп установлен в обсерватории в 1900 г., регулярные наблюдения с его помощью начались в 1902 г. (до сих пор находится в рабочем состоянии). Некоторые астрономические инструменты XIX–XX вв. (приборы для анализа астрономических фотографий, целостаты, гравиметрическое оборудование) изготовлены сотрудниками обсерватории. Коллекция вычислительных устройств XIX – начала XX в. включает зарубежные и отечественные арифмометры, круглую логарифмическую линейку (Англия, середина XIX в.). Собрание глобусов планет, которому более сотни лет, демонстрирует изменение представлений о поверхности планет Солнечной системы. Здесь и первый в мире полный глобус Луны, созданный под руководством сотрудника ГАИШ профессора Ю.Н. Липского, современный глобус Луны с автографом американского астронавта Н. Армстронга, а также глобус для подготовки штурманов. Заслуживают внимания высокоточные часы, использовавшиеся в 1930–1950-х гг. Службой времени обсерватории и ГАИШ. Музей украшают портреты выдающихся ученых-астрономов, а также копии ряда картин XVIII–XIX вв., посвященных естественнонаучной тематике. В фондах хранится Пресненский архив ГАИШ, который начал формироваться в середине XIX в. Он содержит дневники наблюдений известных астрономов, рукописи, письма, документы, фотографии, вырезки из старинных газет. Важное историческое значение имеют личные вещи некоторых ученых – сотрудников обсерватории и ГАИШ, находящиеся в музее. Библиотека насчитывает сотни книг, включая несколько десятков редких изданий XVIII–XIX вв. по астрономии и истории науки.

Часть экспонатов была показана в 2005 г. в Государственном историческом музее и музее истории МГУ на выставках, посвященных 250-летию Московского университета. Выставка в музее истории МГУ по истории астрономии в Московском университете продлена до конца 2006 г.

Надежной основой для работы музея ГАИШ служит почти двухвековая традиция историко-астрономических исследований, ведущихся в МГУ. В 1955 г. под редакцией председателя Комиссии по истории астрономии Астросовета АН СССР П.Г. Куликовского вышел первый том основанного им сборника "Историко-астрономические исследования". С него началось одно из наиболее авторитетных у нас и за рубежом отечественных изданий по истории астрономии, в котором публикуются также статьи о музее и истории ГАИШ.

Основные задачи музея – сбор, хранение и реставрация экспонатов, связанных с историей астрономии в Московском университете. Сотрудники музея исследуют историю становления и развития Астрономической обсерватории МГУ и ГАИШ, созданных ими научных школ, организации и проведения научных экспедиций, а также научные биографии астрономов. Их результаты публикуются в научных изданиях, используются при создании музейных экспозиций и выставок, подготовке учебных курсов (прежде всего, общего курса истории и методологии астрономии, читаемого в ГАИШ уже более 50 лет). Кроме того, сотрудники музея читают популярные лекции, проводят занятия со студентами ГАИШ и школьниками, экскурсии, включающие простейшие телескопические наблюдения.

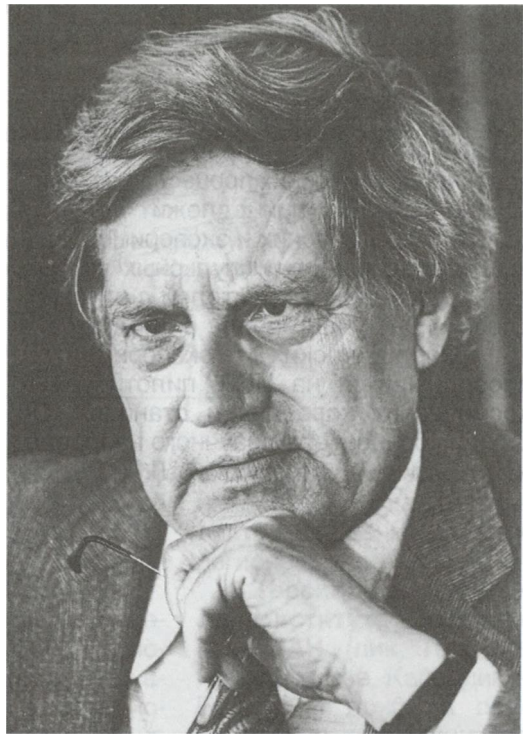
Памяти Леонида Васильевича Лескова

29 апреля 2006 г. на 75-м году ушел из жизни замечательный ученый и интересный человек, заместитель директора по науке в Международном институте теоретической и прикладной физики Российской академии естественных наук, доктор физико-математических наук **Леонид Васильевич Лесков**.

Л.В. Лесков, потомок великого писателя XIX в. Н.С. Лескова, родился 31 марта 1931 г. в Санкт-Петербурге. Его детство прошло в доме на Литейном проспекте, напротив воспетого Н.А. Некрасовым "парадного подъезда". Дед, тоже Леонид, был генералом русской армии и занимал высокий пост в Синоде, а после революции, как А.А. Брусилов и Д.М. Карбышев, служил Советскому государству. Детство Леонида Лескова-младшего закончилось в сорок первом. Отец ушел на фронт, а семья попала в блокаду… Война лишила Леонида отца и родных по мужской линии.

После окончания в 1954 г. физического факультета МГУ по специальности оптика Леонид Васильевич работал в 1955–1985 гг. в ЦНИИ машиностроения, пройдя путь от инженера до начальника отдела. С 1985 г. – главный научный сотрудник НПО "Композит". Преподавал в МФТИ (1958–1972), МВТУ им. Н.Э. Баумана (1973–1984), МАИ (1985–1994). С 1996 г. – профессор философского факультета МГУ и Российской академии государственной службы при Президенте РФ.

Л.В. Лесков – действительный член Российской академии естественных наук, Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского и Международной академии информатизации, член Международного фонда Н.Д. Кондратьева и организации "Прогнозы и циклы" Главного управления юстиции г. Москвы, член Ученых советов МГУ им. М.В. Ломоносова и Института металлов ОАО "Композит", много лет был заместителем пред-



Леонид Васильевич Лесков (1931–2006).

седателя Оргкомитета Научных чтений памяти основоположника теоретической космонавтики К.Э. Циолковского и руководителем секции "Космонавтика и общество" Гагаринских чтений, членом редколлегии журнала "Энергия".

Леонид Васильевич – автор более 500 научных статей, 130 изобретений и 28 монографий, в том числе "Чего не делать. Футуросинергетика России", "Знания и власть", "Нелинейная Вселенная", "Пять шагов за горизонт" и "Футуросинергетика. Универсальная теория систем", ставшая университетским учебником. Наряду с государственными медалями он удостоен наград Федерации космонавтики России и ордена "Рыцарь науки и искусства" РАЕН.

Л.В. Лесков был известным специалистом по спектроскопической диагностике плазмы, оптической пирометрии, неравновесных физических процессов за ударной волной. Ему принадлежит ведущая роль в теоретических и экспериментальных исследованиях импульсных ускорителей плазмы и ускорителей с анодным слоем. Он участвовал в подготовке 150 технологических экспериментов, проводившихся на ИСЗ, пилотируемых космических кораблях и станциях. Он один из основателей научного направления "физика невесомости". Л.В. Лесков внес большой вклад в разработку научного наследия К.Э. Циолковского. Многие его работы посвящены проблемам будущего человечества, промышленного освоения космоса. В последние годы жизни Леонид Васильевич обратился к экономике и футурологии.

На основе идей профессора В.В. Налимова он разработал оригинальную концепцию мэона (разновидность квантового вакуума), семантический потенциал которого, по мнению Л.В. Лескова, служит первоисточником интуитивного знания, своего рода информационным полем Вселенной. Л.В. Лескову принадлежат основополагающие труды в области футуросинергетики (универсальной теории систем) и синергетической кратологии (прогнозирующей развитие самоорганизующихся социальных систем).

Леонид Васильевич был человеком, не менявшим своих взглядов и убеждений в зависимости от конъюнктуры. Его по праву называли выдающимся космистом современности.

Смерть Л.В. Лескова стала тяжелой утратой для всех, кто знал этого человека. Редколлегия и редакция журнала "Земля и Вселенная" потеряли автора многих интересных статей, с которыми Леонид Васильевич выступал на страницах нашего журнала.

Полное солнечное затмение – главное астрономическое событие уходящего года

Наблюдения солнечного затмения на пике Терскол

С. А. ЯЗЕВ,
кандидат физико-математических наук
Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Астрономическая обсерватория ИГУ
БАТМУНХ ДАМДИН,
кандидат физико-математических наук
Научно-исследовательский центр астрономии
и геофизики АН Монголии
С. И. БАРАБАНОВ,
кандидат физико-математических наук
Институт астрономии РАН

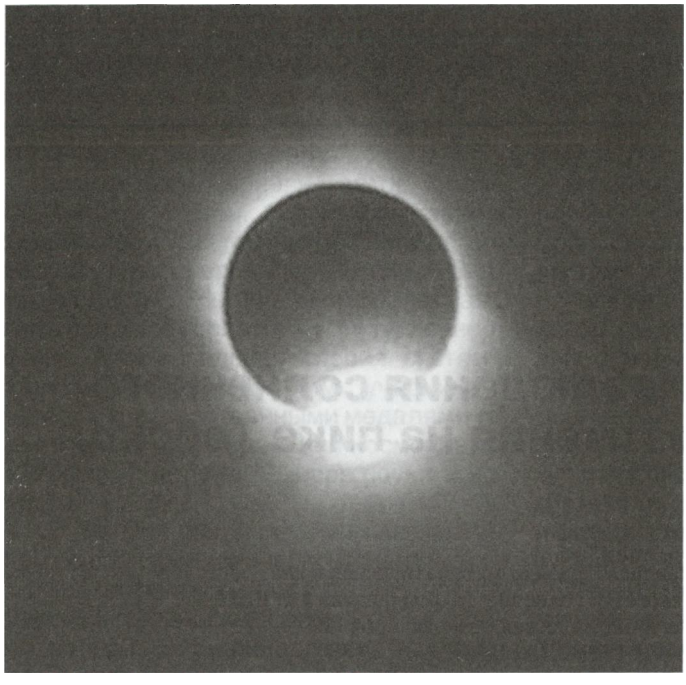
Полное солнечное затмение 29 марта 2006 г. было видно вдоль полосы, протянувшейся от Бразилии через Атлантику, Северную Африку и южную часть Европы до Азии. В России полная фаза затмения наблюдалась в Карачаево-Черкесской и Кабардино-Балкарской республиках, Ставропольском и Алтайском крае, Калмыкии, Астраханской области.

Наблюдения Солнца во время его полного затмения всегда праздник для астрономов – профессионалов и любителей. Затмения дают уникальную возможность исследовать плазму солнечной короны и межпланетной среды, аномалии в озоновом слое и другие процессы в земной атмосфере. И вообще, это незабываемое зрелище.

Обстоятельства затмения 29 марта 2006 г. сложились удачно для его наблюдателей на астрономической обсерватории на пике Терскол, где занимаются также исследованиями Солнца. Здесь продолжительность полной фазы была наибольшей: 3 мин 18 с! Чистый высокогорный воздух, минимум рассеяния света, немалая вероятность хорошей погоды, значительная высота Солнца над горизонтом во время затмения (43°), а также развитая инфраструктура обсерватории привлекли сюда специалистов из разных стран и регионов.

В **Терскольский филиал Института астрономии РАН** (пик Терскол, Приэльбрусье, Кабардино-Балкария) прибыла объединенная экспедиция из иркутского Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН и Научно-исследовательского центра астрономии и геофизики АН Монголии. Сюда же приехали студенты Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга, а также украинские, польские, венгерские, югославские астрономы и, конечно

© Язев С.А., Батмунх Дамдин, Барабанов С.И.



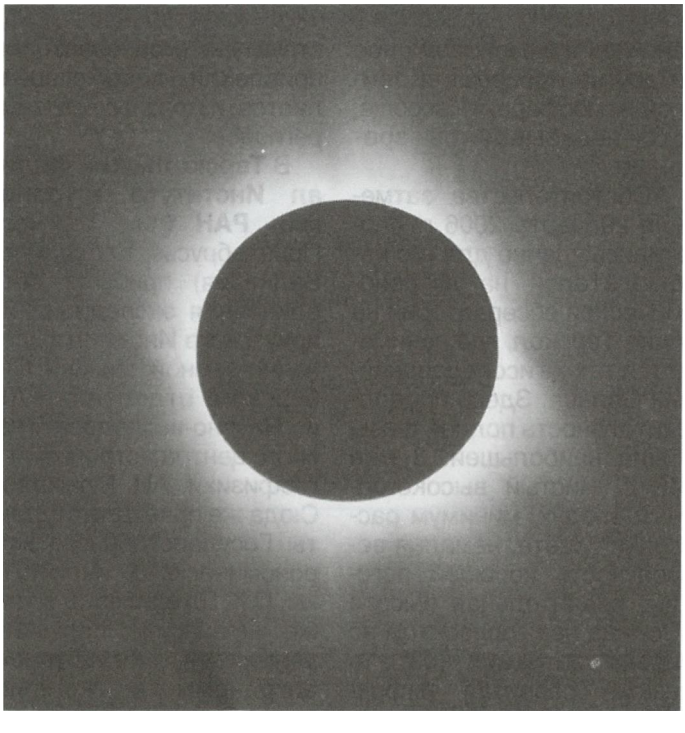
"Бриллиантовое кольцо". Фотоаппарат Олимпус 7070, выдержка 1/100. Фото К. Тарадия.

же, группа сотрудников ИНАСАН. На пик Терскол (высота 3100 м) астрономы поднялись по горной тропе, утопая в трехметровом снегу.

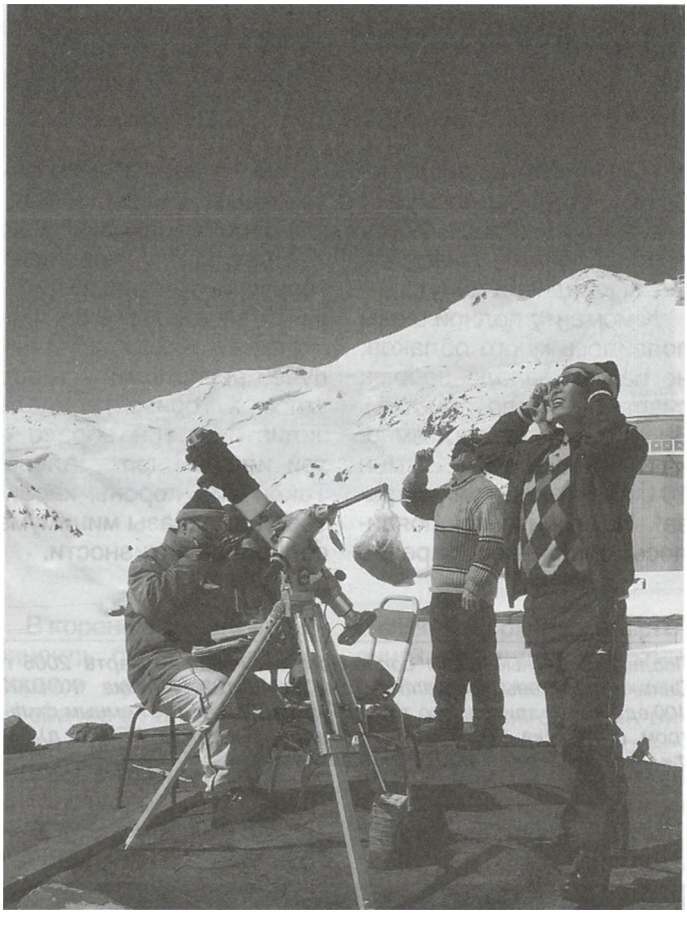
29 марта в 14ч 06м по московскому времени Луна начала медленно покрывать дневное светило. Постепенно темнело, а когда от Солнца остался только узенький серп, похолодало и подул ветер. Фантастическая картина Кавказских гор поражала воображение и навсегда останется в памяти. Многим наблюдателям посчастливилось зафиксировать последние лучи Солнца – "бриллиантовое кольцо". Когда стало темно, на небе появились некоторые звезды, а на фоне желто-лимонного заревого кольца – Венера.

Солнце находилось в час затмения над вершиной Донгуз-Орун, ледяной панцирь которой придавал незабываемую красоту всей картине. Равнодушных не было. Наблюдатели восторженно встретили первый луч Солнца, освобождающийся из лунного плена.

Участники экспедиций ИСЗФ СО РАН под руководством С.А. Язева и Улан-Баторской астроно-



Солнечная корона во время полной фазы затмения 29 марта 2006 г. Фотоаппарат Canon EOS 350D, экспозиция 0.008 с, пленка ISO 400.



Участники монгольской экспедиции Батмунх Дамдин (справа) и Давахуу Гомбосурэн у 80-мм Астрономического телескопа ED80S наблюдают частное солнечное затмение. В центре – Идрис Джапуев (директор гостиницы). Фото Е.А. Козырева.

мической обсерватории Научно-исследовательского центра астрономии и геофизики АН Монголии под руководством Батмунха Дамдина провели научные исследования.

На пункте Терскол (на обсерватории) сотрудники ИСЗФ СО РАН С.А. Язев, Д.В. Семенов и Е.А. Козырев получили серию снимков хромосферы и нижней короны в белом свете с помощью телескопа Шмидта – Кассегрена (диаметр главного зеркала 150 мм) и цифрового фотоаппарата. Кроме того, во время полной фазы сделан ряд цифровых снимков нижней, средней и верхней короны в белом свете через объективы (фокусные расстояния 350 и 450 мм) с различными выдержками. Применялись профессиональные цифровые камеры Canon с ПЗС-матрицами на 9 и 11 мегапиксел.

Сотрудники ИСЗФ СО РАН В.С. Пещеров и О.А. Ожогина наблюдали затмение на противоположном склоне ущелья, на метеостанции Чегет (высота 3000 м). Удалось получить серию цифровых снимков средней и верхней короны с разными выдержками при разных положениях поляризационного фильтра, а также изображения короны на фотопленке.

Монгольские специалисты – кандидаты наук Батмунх, Лхагважав и Давахуу, наблюдавшие на соседней площадке, получили несколько изображений короны в диапазоне 475–650 нм с помощью разных фильтров. Эти снимки предполагается использовать для определения некоторых физических параметров короны. Ученые также фотографировали частное затмение и "бриллиантовое кольцо". Монгольские коллеги провели измерения ультрафиолетового излучения во время затмения на длинах волн 365 и 312 нм. По этим данным определяют коэффициент прозрачности атмосферы.

Результаты, полученные российской и монгольской экспедициями, представлены на конференции, посвященной 75-летию астрономической обсерватории ИГУ, которая состоялась в ноябре 2006 г. в Иркутском государственном университете.

195 секунд полной фазы

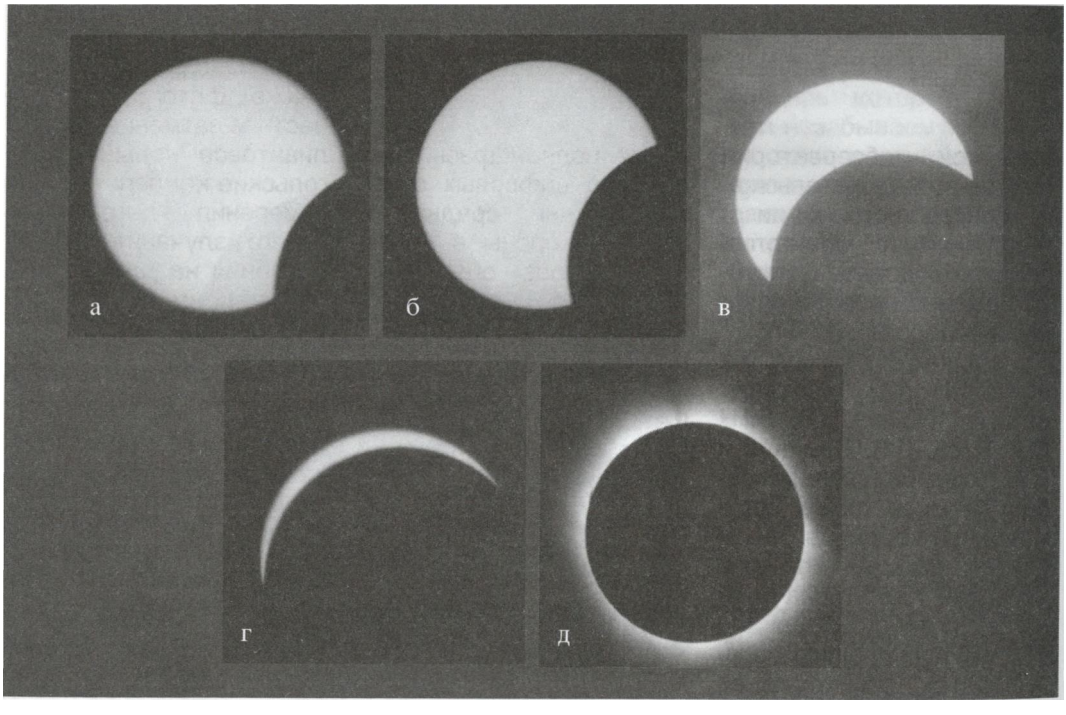
Полное солнечное затмение 29 марта 2006 г. – самое близкое к Тульской области, где я живу, из видимых в России, на много десятилетий вперед (до 2061 г.). Поэтому я решил, что обязательно буду наблюдать его. Проанализировав карту полосы полной фазы, я поехал на юг республики Калмыкия, в поселок Артезиан.

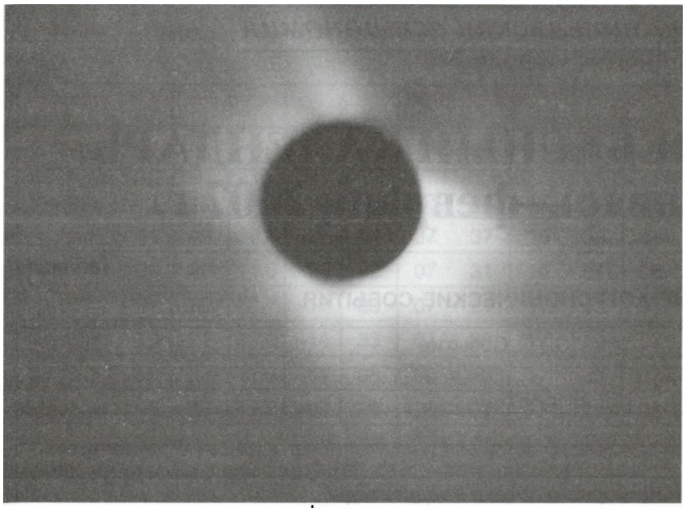
Приехав на место, я установил аппаратуру для наблюдения: семь фотоаппаратов с разным масштабом изображения и видеокамеру.

Частное затмение началось примерно в 14 ч 09 мин по московскому времени. Солнце становилось все более узким серпом. Я фотографировал частные фазы каждые 5 минут.

К моменту полной фазы появилось много облаков, но на юго-западе небо, к счастью, было чистым. Вдруг быстро стало темно, как ночью. В 15 ч 21 мин 10 с наступила полная фаза! На горизонте появилось оранжевое заревое кольцо, а вверху небо было серым. Белая, без каких-либо оттенков, корона протянулась приблизительно на полтора диаметра Солнца от лимба. Несколько хорошо заметных лучей расположились под углом к горизонту вдоль эклиптики: три вправо и три или четыре – влево. Такой вид короны характерен для фазы минимума солнечной активности.

Последовательные фазы солнечного затмения 29 марта 2006 г. Снимки получены фотоаппаратом "Зенит-122" (пленка "KODAK" 400 ед.) через зрительную трубу "Турист 3": а, б, г) с темным фильтром, выдержка 1/30 с; в) без фильтра, выдержка 1/500 с; д) без фильтра, выдержка 1/30 с. Фото автора.





Корона во время полного солнечного затмения. При фотографировании автор использовал объектив школьного рефрактора (диаметр 80 мм, относительное отверстие 1/10), радиальный фильтр, пленку "KODAK" 400 ед. (выдержка 1 с).

В короне в семикратный бинокль были видны полярные щеточки. Хромосфера же в начале полной фазы выглядела узким серпом, с тремя небольшими протуберанцами сверху. К концу полного затмения серп уже с одним протуберанцем находился внизу справа.

Визуально, на фотографиях и при видеосъемке корона выглядит по-разному. Невооруженным глазом видно белое тусклое свечение на темном небе без перепада яркости. На снимках на разных расстояниях от лимба заметны перепады яркости короны. Для чувствительной видеокамеры небо представляется светло-голубым, и в короне четко выражены блестящие длинные лучи.

Полная фаза длилась 3 мин 15 с, после чего из-за Луны, снизу, показался яркий край Солнца. Теперь все увеличивающийся серп был обращен выпуклостью вниз. Дети, собравшиеся рядом, в первую половину затмения увлеченно рассматривали Солнце через закопченные стекла, даже мешали наблюдениям, а после полной фазы все куда-то исчезли, возможно испугались.

Нельзя не отметить большую доброжелательность местных жителей. Оказалось, что они до того, как я установил аппаратуру, вообще не знали, что могут увидеть полное солнечное затмение. Ради этого незабываемого зрелища стоило ехать даже четыре дня.

Следующее полное солнечное затмение произойдет 1 августа 2008 г. На территории России оно будет видно в Западной Сибири и на Алтае.

В.В. БЕЛОУСОВ

НЕБЕСНЫЙ КАЛЕНДАРЬ: январь–февраль 2007 г.

Таблица I

ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ

Дата	Время, ч	Событие
		ЯНВАРЬ
3	14.0	**Полнолуние**
3	20	Земля в перигелии
3	23	*Максимум активности метеорного потока Квадрантиды*
6	18	*Покрытие Сатурна Луной, видимое на севере и востоке России*
7	6	*Покрытие звезды Регул (α Льва) Луной, видимое на западе России*
7	6.1	Меркурий в верхнем соединении с Солнцем
10	16.4	Луна в апогее
11	12.7	Луна в последней четверти
15	15.2	Луна в 6° южнее Юпитера
19	4.0	**Новолуние**
20	17.3	Луна в 1° южнее Венеры
22	5.5	Луна в 0.3° севернее Урана
22	12.5	Луна в перигее
25	23.0	**Луна в первой четверти**
27	18	Покрытие звездного скопления Плеяды Луной, видимое на севере России
		ФЕВРАЛЬ
2	5.8	**Полнолуние**
3	0	*Покрытие Сатурна Луной, видимое в России*
7	12.6	Луна в апогее
7	19.0	Венера в 1° южнее Урана
7	17.3	Меркурий в наибольшей восточной элонгации 18°
8	15.9	Нептун в соединении с Солнцем
10	9.8	**Луна в последней четверти**
10	18.7	Сатурн в противостоянии с Солнцем
11	–	Максимум блеска долгопериодической переменной звезды R Льва
12	1	Покрытие звезды τ Скорпиона Луной, видимое на юге Сибири
12	9.3	Луна в 6° южнее Юпитера
13	14.0	Меркурий переходит от прямого движения к попятному
14	–	Максимум блеска долгопериодической переменной звезды о Кита
17	16.2	**Новолуние**
19	9.6	Луна в перигее
19	15.7	Луна в 2° севернее Венеры
23	4.7	Меркурий в нижнем соединении с Солнцем
24	7.9	**Луна в первой четверти**

Примечание. Во всех таблицах дано Всемирное время (UT), кроме особо оговоренных случаев. (О покрытии звездного скопления Плеяды Луной см. Земля и Вселенная, 2006, № 5.)

Таблица II

ЭФЕМЕРИДЫ СОЛНЦА

Дата		α		δ		45°				55°				65°			
		ч	м	°	′	восход		заход		восход		заход		восход		заход	
Январь	1	18	44.3	–23	03	07	38	16	27	08	25	15	41	10	07	13	58
	11	19	28.1	–21	54	07	37	16	38	08	20	15	55	09	50	14	25
	21	20	11.0	–20	02	07	31	16	51	08	08	16	13	09	23	14	59
	31	20	52.7	–17	33	07	21	17	05	07	53	16	33	08	52	15	34
Февраль	10	21	33.0	–14	33	07	08	17	19	07	34	16	54	08	18	16	10
	20	22	12.0	–11	08	06	53	17	33	07	12	17	15	07	43	16	44
Март	2	22	49.0	–07	26	06	37	17	47	06	48	17	36	07	08	17	17

Примечание. В таблице приведено среднее солнечное время восходов и заходов. Во всех таблицах координаты α и δ даны на $0^{ч}$ UT.

Пример. Определить время восхода Солнца 7 января 2007 г. в Москве (широта 55°45', долгота $2^{ч}30^{м}$). По таблице "Эфемериды Солнца" интерполируем по широте и дате значение времени восхода Солнца на 7 января, получаем $8^{ч}27^{м}$. Вычтем из него долготу места, прибавим номер часового пояса, один час декретного времени, получаем $8^{ч}57^{м}$.

Таблица III

ЭФЕМЕРИДЫ ПЛАНЕТ

Дата		α		δ		m	d	f	Продолжительность видимости для разных широт			Период видимости
		ч	м	°	′		″		45°	55°	65°	
Меркурий												
Январь	1	18	28.7	–24	45	–1.0	4.7	0.99	–	–	–	
	11	19	39.4	–23	32	–1.2	4.7	1.00	–	–	–	
	21	20	50.1	–19	47	–1.0	5.1	0.96	–	–	–	
	31	21	55.7	–13	42	–0.9	5.8	0.80	0.7	0.3	–	
Февраль	10	22	39.5	–07	11	–0.2	7.6	0.42	1.0	1.0	0.9	Вечер
	20	22	31.3	–05	31	3.4	10.0	0.04	–	–	–	Вечер
Март	2	21	54.9	–09	30	2.4	10.4	0.10	–	–	–	
Венера												
Январь	1	19	53.3	–22	15	–3.8	10.3	0.96	1.1	0.8	–	Вечер
	11	20	45.7	–19	35	–3.8	10.5	0.95	1.4	1.4	0.4	Вечер
	21	21	36.0	–15	58	–3.8	10.7	0.94	1.7	1.8	1.9	Вечер
	31	22	24.1	–11	38	–3.8	10.9	0.92	2.0	2.1	2.4	Вечер
Февраль	10	23	10.5	–06	47	–3.8	11.2	0.91	2.2	2.5	2.9	Вечер
	20	23	55.6	–01	39	–3.8	11.6	0.89	2.5	2.7	3.2	Вечер
Март	2	00	40.2	+03	34	–3.8	12.0	0.87	2.7	3.0	3.6	Вечер
Марс												
Январь	1	17	09.6	–23	14	1.5	3.9	0.99	0.1	–	–	Утро
	11	17	41.2	–23	47	1.5	4.0	0.98	0.5	–	–	Утро
	21	18	13.3	–23	56	1.4	4.1	0.98	0.6	–	–	Утро
	31	18	45.6	–23	40	1.4	4.2	0.97	0.6	–	–	Утро

Таблица III (окончание)

ЭФЕМЕРИДЫ ПЛАНЕТ

Дата		α		δ		m	d	f	Продолжительность видимости для разных широт, r			Период видимости
		ч	м	°	′		″		45°	55°	65°	
Марс												
Февраль	10	19	18.0	–22	59	1.3	4.3	0.97	0.6	–	–	Утро
	20	19	50.2	–21	53	1.3	4.4	0.96	0.6	–	–	Утро
Март	2	20	22.0	–20	25	1.2	4.5	0.95	0.6	–	–	Утро
Юпитер												
Январь	1	16	26.2	–20	59	–1.8	31.9	1.00	2.2	2.1	1.3	Утро
	11	16	34.7	–21	18	–1.8	32.4	1.00	2.7	2.6	1.7	Утро
	21	16	42.8	–21	33	–1.9	33.0	1.00	3.2	3.0	1.9	Утро
	31	16	50.2	–21	46	–1.9	33.8	0.99	3.6	3.3	2.0	Утро
Февраль	10	16	56.9	–21	57	–2.0	34.6	0.99	4.0	3.5	2.1	Утро
	20	17	02.8	–22	05	–2.0	35.6	0.99	4.3	3.7	2.1	Утро
Март	2	17	07.8	–22	11	–2.1	36.6	0.99	4.6	3.9	2.1	Утро
Сатурн												
Январь	1	09	48.7	+14	30	0.2	19.6	1.00	11.3	12.3	14.3	Ночь
	11	09	46.7	+14	43	0.2	19.8	1.00	11.9	12.9	14.7	Ночь
	21	09	44.1	+14	57	0.1	20.0	1.00	12.5	13.5	15.1	Ночь
	31	09	41.2	+15	14	0.0	20.1	1.00	12.9	13.7	14.9	Ночь
Февраль	10	09	38.1	+15	30	0.0	20.2	1.00	12.8	13.4	14.3	Ночь
	20	09	34.9	+15	47	0.0	20.1	1.00	12.5	12.9	13.7	Ночь
Март	2	09	31.9	+16	02	0.0	20.0	1.00	11.8	12.2	12.7	Ночь

ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

Меркурий появляется на фоне вечерней зари в первой половине февраля в созвездии Водолея.

Венера ярко светит по вечерам на юго-западе в созвездиях Козерога, Водолея и Рыб.

Марс будет едва заметен на фоне утренней зари в южных районах России.

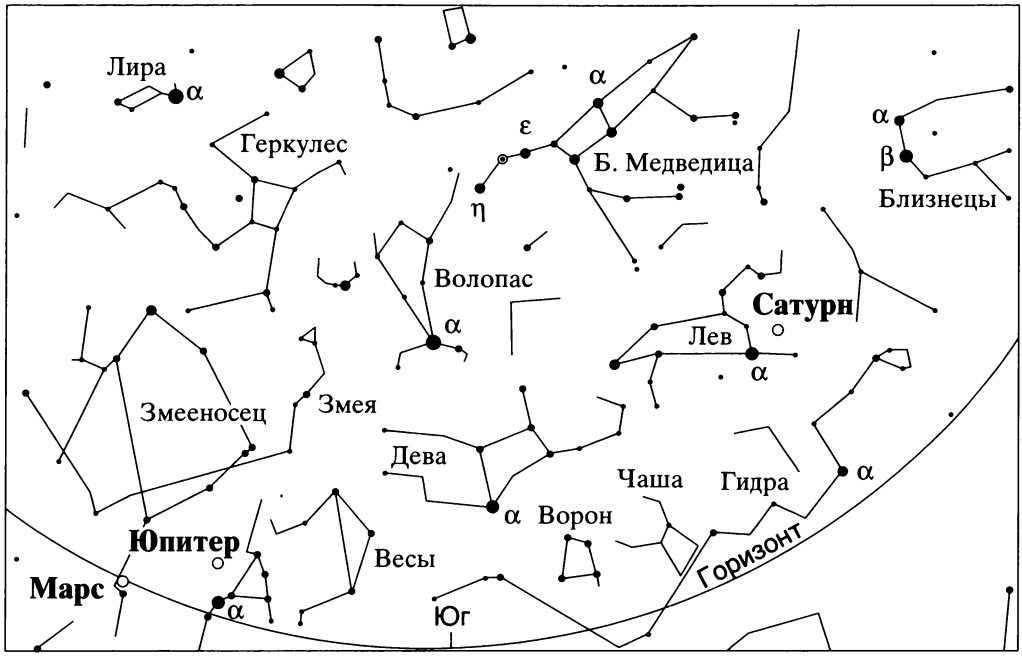
Юпитер появляется перед рассветом над юго-восточным горизонтом в созвездии Змееносца.

Сатурн прекрасно виден всю ночь в созвездии Льва.

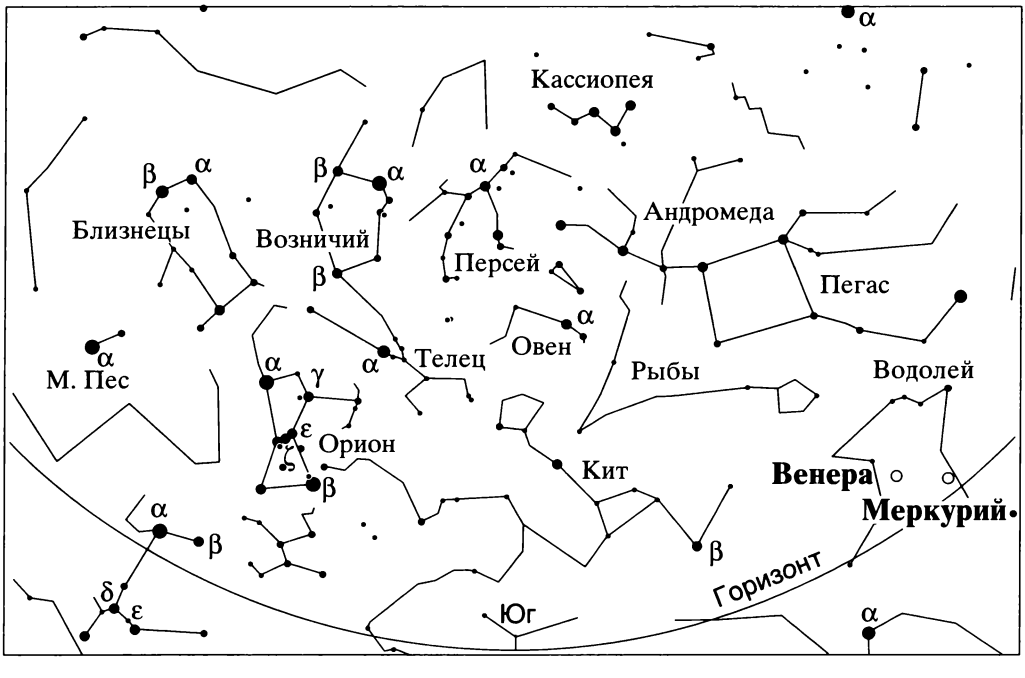
ПОКРЫТИЯ ЛУНОЙ САТУРНА И РЕГУЛА

С первых дней 2007 г. начинается серия **покрытий Луной планеты Сатурн и яркой звезды Регул** (α Льва), видимых с территории России. В январе и феврале произойдут сразу три подобных явления. Два покрытия Сатурна, 6 января и 2–3 февраля, будут видны на ночном небе высоко над горизонтом. Фаза Луны в это время близка к полной. Особенно интересно наблюдать явление вблизи полосы касательного покрытия, где Сатурн на несколько минут частично закроется диском Луны. 6 января и 2–3 февраля такая полоса пройдет по территории России. В первом случае на ее пути окажутся Карелия, север Архангельской области и Республики Коми, северо-запад и центр Сибири, Дальний Восток. Во втором – полоса пройдет от Таллина через Великие Луки, Брянск и восточные области Украины к Махачкале. Полное покрытие Сатурна можно наблюдать 6 января к северу от этих районов и 2–3 февраля – к востоку (начиная с 23ч). Здесь будет видна и частная фаза, продолжающаяся не менее 30 с при покрытии, и столько же – выход планеты из-за диска Луны.

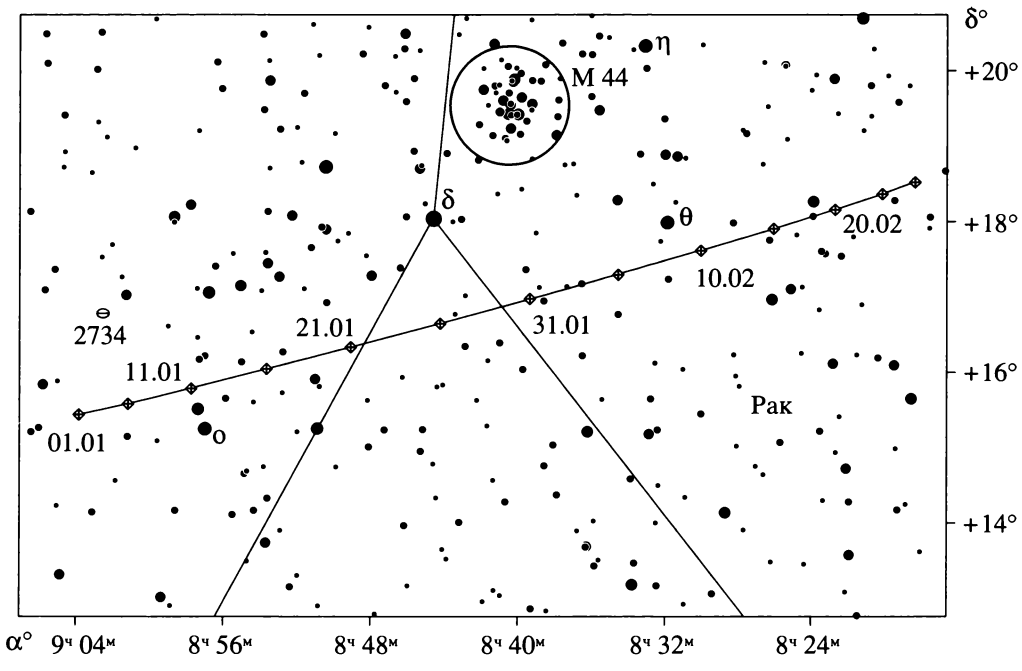
Утром 7 января, через несколько часов после покрытия Сатурна, в центральных и северо-западных районах России произойдет покрытие Луной звезды Регул. Его можно наблюдать в утренние сумерки в северо-западных регионах и после восхода Солнца – в центральных. Звезда Регул, в отличие от Сатурна, исчезнет за диском Луны и появится из-за него мгновенно.



Звездное небо 5 января в 07ч30м по московскому времени. Видны Марс, Юпитер и Сатурн.



Звездное небо 3 февраля в 18ч30м по московскому времени. Видны Меркурий и Венера.



Видимый путь астероида Массалия среди звезд в январе–феврале 2007 г.

МАЛАЯ ПЛАНЕТА МАССАЛИЯ

Астероид **Массалия** (20) окажется в противостоянии к Солнцу в конце января 2007 г., находясь в созвездии Рака, вблизи яркого рассеянного звездного скопления Ясли (М 44). Блеск малой планеты в это время достигнет 8.5^m, и его можно будет найти в небольшой телескоп с помощью прилагаемой звездной карты.

Таблица IV

ЭФЕМЕРИДЫ АСТЕРОИДА МАССАЛИЯ (20)

Дата		α		δ		Расстояние		Элонгация	Блеск
						от Земли	от Солнца		
		ч	м	°	′	а.е.	а.е.	°	m
Январь	1	09	04.2	+15	28	1.19	2.08	146	9.2
	6	09	01.5	+15	38	1.16	2.08	152	9.1
	11	08	58.0	+15	51	1.14	2.08	158	8.9
	16	08	53.9	+16	07	1.12	2.08	164	8.8
	21	08	49.2	+16	25	1.11	2.09	170	8.7
	26	08	44.3	+16	45	1.11	2.09	176	8.5
	31	08	39.3	+17	05	1.11	2.09	177	8.5
Февраль	5	08	34.3	+17	24	1.12	2.10	171	8.7
	10	08	29.7	+17	42	1.13	2.10	165	8.8
	15	08	25.6	+17	59	1.16	2.11	159	9.0
	20	08	22.2	+18	13	1.18	2.11	153	9.1
	25	08	19.5	+18	24	1.22	2.12	147	9.3
Март	2	08	17.7	+18	33	1.25	2.12	141	9.4

О.С. УГОЛЬНИКОВ,
кандидат физико-математических наук
ИКИ РАН

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ И ЗАМЕТОК, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ "ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ" В 2006 г.

Гнедин Ю.Н. Темная материя – загадка Вселенной 1
Данилов А.И. Возвращение в Арктику 1
Добролюбов С.А. Глобальные различия уровня океанов 4
Засова Л.В. Научные результаты, полученные АМС "Марс Экспресс" 2
Кузнецов В.Д. Исследования Солнца и солнечно-земных связей со спутника "КОРОНАС-Ф" 4
Маркин В.А. Картография опасностей природных катастроф 4
Приоритеты в планетных исследованиях 2
Родин А.В. Новое о Титане 4
Титов Д.В. Первая европейская миссия к Венере 3
Уральская В.С. Крупнейшие транснептунные объекты 2
Чеботарев В.Е. Спутниковая навигация 1
Чернин А.Д. Всемирное тяготение 1
Чурюмов К.И. Современное представление о кометах 4

К 60-летию Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ

Логачев Ю.И., Григорян О.Р. НИИЯФ МГУ: важнейшие космические эксперименты 3
Новиков Л.С. Взаимодействие космических аппаратов с окружающей средой 3
Панасюк М.И. НИИЯФ МГУ: вчера, сегодня, завтра 3
Панасюк М.И. Радиоактивный космос 3
Свешникова Л.Г. Тайна происхождения космических лучей разгадана? 3

К 70-летию Института астрономии РАН

Боярчук А.А., Шустов Б.М. Всемирная космическая обсерватория 5
Вибе Д.З. Молекулы и звезды 5
Смирнов М.А., Багров А.В. Проект "ОЗИРИС" 5
Тарадий В.К., Сергеев А.В., Карпов И.В. Обсерватория на пике Терскол 5
Татевян С.К. Космическая геодинамика 5
Фридман А.М., Торгашин Ю.М., Снежкин Е.Н. Гидродинамические неустойчивости и генерируемые ими спиральные и вихревые структуры 5
Шустов Б.М. От Земли до глубин Вселенной 5

К 175-летию Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга

Жаров В.Е., Куимов К.В. Астрометрия XXI века: настоящее и будущее 6
Есипов В.Ф., Гиндилис Л.М., Горшков А.Г., Рудницкий Г.М. Становление всеволновой астрономии в ГАИШ 6
Ефремов Ю.Н., Расторгуев А.С. Московская школа звездной астрономии: история и современность 6
Кононович Э.В. Гелиосейсмология как метод изучения Солнца 6
Менцин Ю.Л. Музей истории университетской обсерватории и ГАИШ 6
Руденко В.Н. Шепот Вселенной 6
Сомов Б.В., Хлыстов А.И. Астрофизики изучают атмосферу Земли 6
Уральская В.С. Необычные объекты Солнечной системы 6
Черепащук А.М. ГАИШ МГУ – от истоков до наших дней 6
Шевченко В.В. Неразгаданная тайна Луны 6

Люди науки

Александр Алексеевич Боярчук (к 75-летию со дня рождения) 4
Ефремов Ю.Н. Павел Петрович Паренаго 3
К 45-летию исторического полета Ю.А. Гагарина 2
Козенко А.В. Клайд Уильям Томбо (к 100-летию со дня рождения) 3
Козенко А.В. Эдмонд Галлей (к 350-летию со дня рождения) 4
Курт В.Г. Иосиф Самуилович Шкловский (к 90-летию со дня рождения) 4
Левитан Е.П. Д.Я. Мартынов – первый главный редактор нашего журнала 2
Левитан Е.П. Вспоминая кружковские годы 3
Маркин В.А. Иван Дементьевич Черский 3
Памяти Юрия Александровича Суркова 2
Памяти Геннадия Михайловича Тамковича 4
Памяти Татеоса Артемьевича Агекяна 5
Памяти Леонида Васильевича Лескова 6
Поздравляем Виталия Лазаревича Гинзбурга с 90-летием со дня рождения! 3
Черепащук А.М. Дмитрий Яковлевич Мартынов (к 100-летию со дня рождения) 2

Экология

Супруненко Ю.П. Карликовые ледники Урала – индикаторы потепления 1

В Российской академии космонавтики

Кантемиров Б.Н. Юбилейная конференция РАКЦ 5

Проблемы SETI

Рудницкий Г.М. Американская программа SETI 1

Астрономическое образование

Кузнецов Ю.Е. Астрономия в сельской малокомплектной школе 3
Левитан Е.П. Четыре ступени детского и юношеского познания Вселенной 3

Международные исследования

Мохов И.И. Климатические изменения в Арктике 2

Симпозиумы, конференции, съезды

Бирюков Ю.В. Юбилейные Циолковские чтения 2
Гиндилис Л.М., Михайлов К.А., Панов А.Д. "Горизонты астрономии и SETI" 2

Планетарии и малые обсерватории

Солодовник А.А. "Космический Дом Будущего" в Казахстане 5

Фролов В.И. Звездный дом Волгограда 4

История науки

Милановский Е.Е. Юбилей МОИП и геология в России 2
Родионова Ж.Ф. "Луна-9": первая мягкая посадка на Луну 2

Гипотезы, дискуссии, предложения

Городницкий А.М. Инверсии геомагнитного поля и жизнь на Земле 1
Городницкий А.М. Атлантида – от легенды к науке 4
Портнов А.М. Аэропоиск полезных ископаемых 5

Полное солнечное затмение – главное астрономическое событие уходящего года

Белоусов В.В. 195 секунд полной фазы 6
Язев С.А., Батмунх Дамдин, Барабанов С.И. Наблюдения полного солнечного затмения на пике Терскол 6

Любительская астрономия

Небесный календарь: март–апрель 2006 г. 1
Небесный календарь: май–июнь 2006 г. 2
Небесный календарь: июль–август 2006 г. 3
Небесный календарь: сентябрь–октябрь 2006 г. 4
Небесный календарь: ноябрь–декабрь 2006 г. 5
Небесный календарь: январь–февраль 2007 г. 6

Астрономия и Интернет

Самодуров В.А. Конкурс астрокосмических сайтов 1
Самодуров В.А. Образовательные российские сайты по астрономии 3

Хроника сейсмичности Земли

Старовойт О.Е., Чепкунас Л.С., Габсатарова И.П. Землетрясения во втором полугодии 2005 г. 2
Уломов В.И. Отзвуки землетрясений в Москве 3

По выставкам и музеям

Герасютин С.А. "МАКС-2005": образцы новой космической техники 1
Глезер Г.М. Открытие мемориального кабинета А.А. Штернфельда 2
Костина Ю.В. "Космическое содружество" 2
Соломко Ю.М. Мемориальный музей космонавтики (к 25-летию открытия) 4

Книги о Земле и небе

Еремеева А.И. Посвятившие жизнь астрономии 5
Моишеев А.А., Шевалёв И.А. Воспоминания ветерана космонавтики 4
Полтавец Г.А. Стыковки космических кораблей 2

Новости науки и другая информация

Астрономия

Астероид Сильвия: уточнены параметры 3
"Великое Кольцо" в Андромеде 1
Вода на Энцеладе? 4
Гамма-вспышка на краю Вселенной 1
Изучение Марса продолжается 3
"Космическая пасть" 4
Луна в ультрафиолете 4
Молодые звездные скопления 3
Найден тяжелый метеорит 1
Новое о системе Сатурна 1
Новые кольца и спутники Урана 3
Новый статус Плутона 6
Новый телескоп в Чили 1
Новые землеподобные экзопланеты 4
Новые снимки Пандоры и Дионы 2
Новые спутники Плутона 2
Пояса астероидов у ближайших звезд 4
Распад кометы Швассмана – Вахмана 3 5
Самая быстрая звезда? 2
Солнце в августе – сентябре 2005 г. 1
Солнце в октябре – ноябре 2005 г. 2
Солнце в декабре 2005 г. – январе 2006 г. 3
Солнце в феврале – марте 2006 г. 4
Солнце в апреле – мае 2006 г. 5
Солнце в июне – июле 2006 г. 6
Сверхмощная вспышка на Солнце 1
Следы вулканической активности Марса 5
Слияние двух галактик 5
Сейчас у Марса четыре искусственных спутника 4
Черная дыра раздула пузырь 1

Космонавтика

Вещество в земной лаборатории 3
Вещество кометы доставлено на Землю 2
Взята проба грунта с астероида! 1
Второй полет китайских космонавтов 1
Двенадцатая экспедиция на МКС 1
10 лет работы "SOHO" 2
Запуск к Плутону 2
Начало работы нового метеоспутника 3
Новая российская космическая программа 2
Новый старт к Венере 2
Новости с "Кассини" 4
Первые пять лет полетов экипажей на МКС 2
Первые результаты исследования кометной пыли 4
Подготовка первого полета к Плутону 1
Полет к Плутону 3
Продлевается полет АМС "SMART-1" 1
Работа марсоходов 6
"Радиоскаф" ("Иван Иванович") 3
Российский прибор на американской лунной станции 1
Спутник системы "GPS" нового поколения 1
Тринадцатая основная экспедиция на МКС 4

Науки о Земле

Неспокойно на Камчатке 5
Полвека российских работ в Антарктиде 4
Премия Декарта – российским и норвежским экологам 4
Резкое и длительное похолодание в России и Европе в январе 2
Рекордный сезон тайфунов 1
Эволюция озоновой дыры над Антарктидой 1
Новые книги 1–5
Указатель статей и заметок об исследованиях атмосферы Земли, климата и погоды, опубликованных в "Земле и Вселенной" в 1965–2005 гг. 5
Указатель статей и заметок, опубликованных в журнале "Земля и Вселенная" в 2006 г. 6

Ф.СП-1

АБОНЕМЕНТ

70336
(индекс издания)

на ~~газету~~ журнал

Земля и Вселенная
(наименование издания)

Количество комплектов

на ___ год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда (почтовый индекс) (адрес)

Кому
(фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

ПВ	место	литер

на ~~газету~~ журнал

70336
(индекс издания)

Земля и Вселенная
(наименование издания)

Стои-мость	подписки	____руб. ____коп.	Количество комплектов	
	пере-адресовки	____руб ____коп.		

на ___ год по месяцам:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда (почтовый индекс) (адрес)

Кому
(фамилия, инициалы)

Дорогие читатели,

с Новым годом!

Напоминаем, что подписаться на журнал "Земля и Вселенная" вы можете с любого номера по Объединенному каталогу "Пресса России" (I полугодие 2007 г.) во всех отделениях связи. Подписной индекс – 70336.

Заведующая редакцией Г.В. Матросова
Зав. отделом астрономии Г.Н. Яшина
Зав. отделом наук о Земле В.А. Маркин
Зав. отделом космонавтики С.А. Герасютин

Художественные редакторы О.Н. Никитина, М.С. Вьюшина
Литературный редактор О.Н. Фролова
Оператор ПК Н.Н. Токарева
Корректор Г.В. Печникова
Обложку оформила О.Н. Никитина

Сдано в набор 01.09.2006. Подписано в печать 25.10.2006. Формат бумаги $70\times100^{1}/_{16}$
Офсетная печать Уч.-изд. л. 12.2. Усл.печ. л. 9.1. Усл.кр.-отт. 7.1 тыс. Бум. л. 3.5
Тираж 753 экз. Заказ № 1762

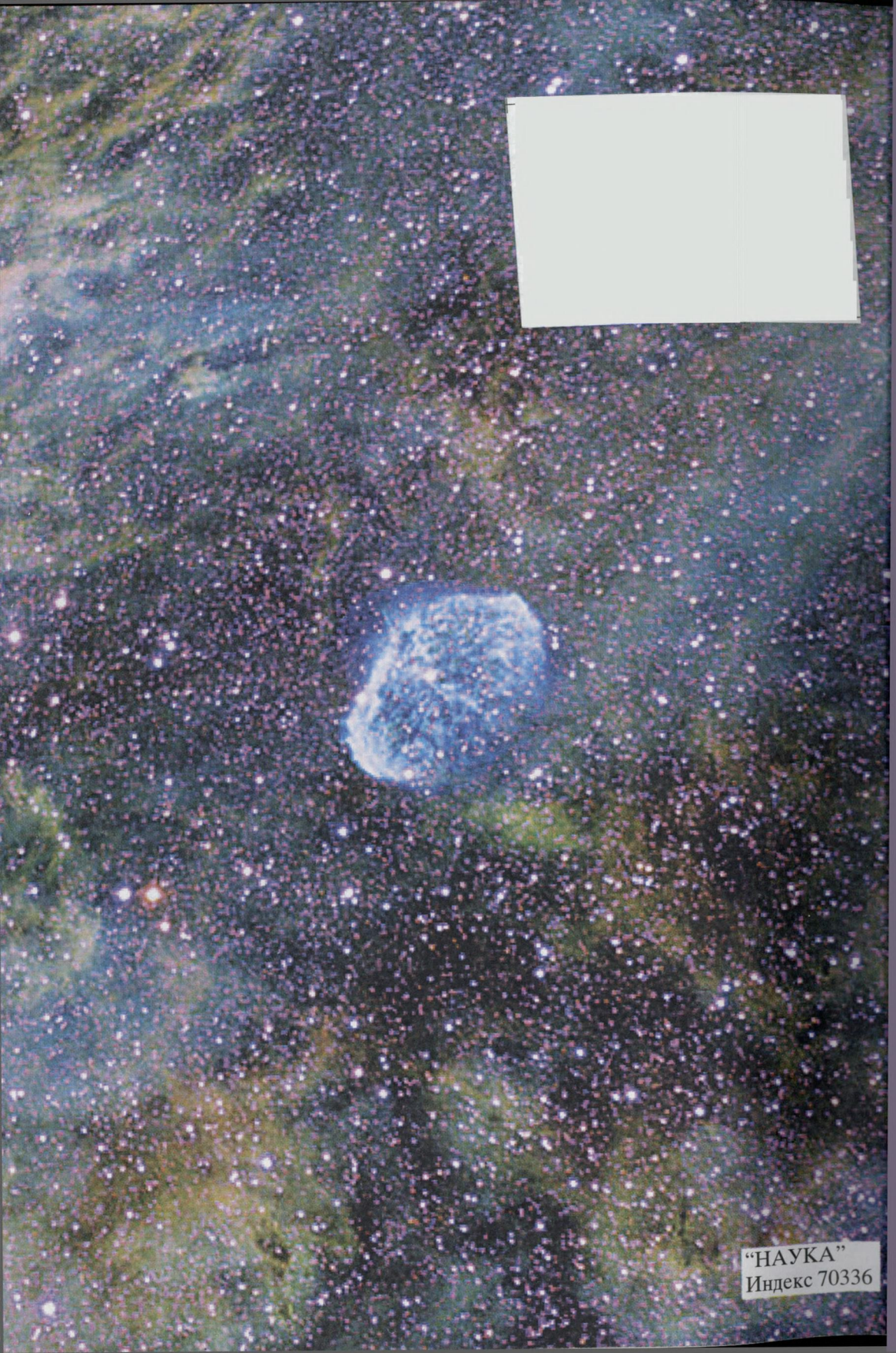
Учредители: Российская академия наук, Президиум

Издатель: Академиздатцентр "Наука",
117997, Москва, Профсоюзная ул., 90
Адрес редакции: 119991 Москва, Мароновский пер., 26
Телефоны: (факс) 238-42-32, 238-29-66
E-mail: zevs@naukaran.ru
Web-страница журнала: http://ziv.telescopes.ru

Оригинал-макет подготовлен МАИК "Наука/Интерпериодика"

Отпечатано в ППП "Типография Наука"
121099 Москва, Шубинский пер., 6

Экипаж КК Дискавери (STS-121), совершивший полет на МКС 4–17 июля 2006 г.: Стефани Уилсон, Майкл Фоссум, Стивен Линдси, Пирс Селлерс (Великобритания), Майкл Келли, Томас Райтер (ESA, Германия) и Лайза Новак. Фото NASA



"НАУКА"
Индекс 70336