

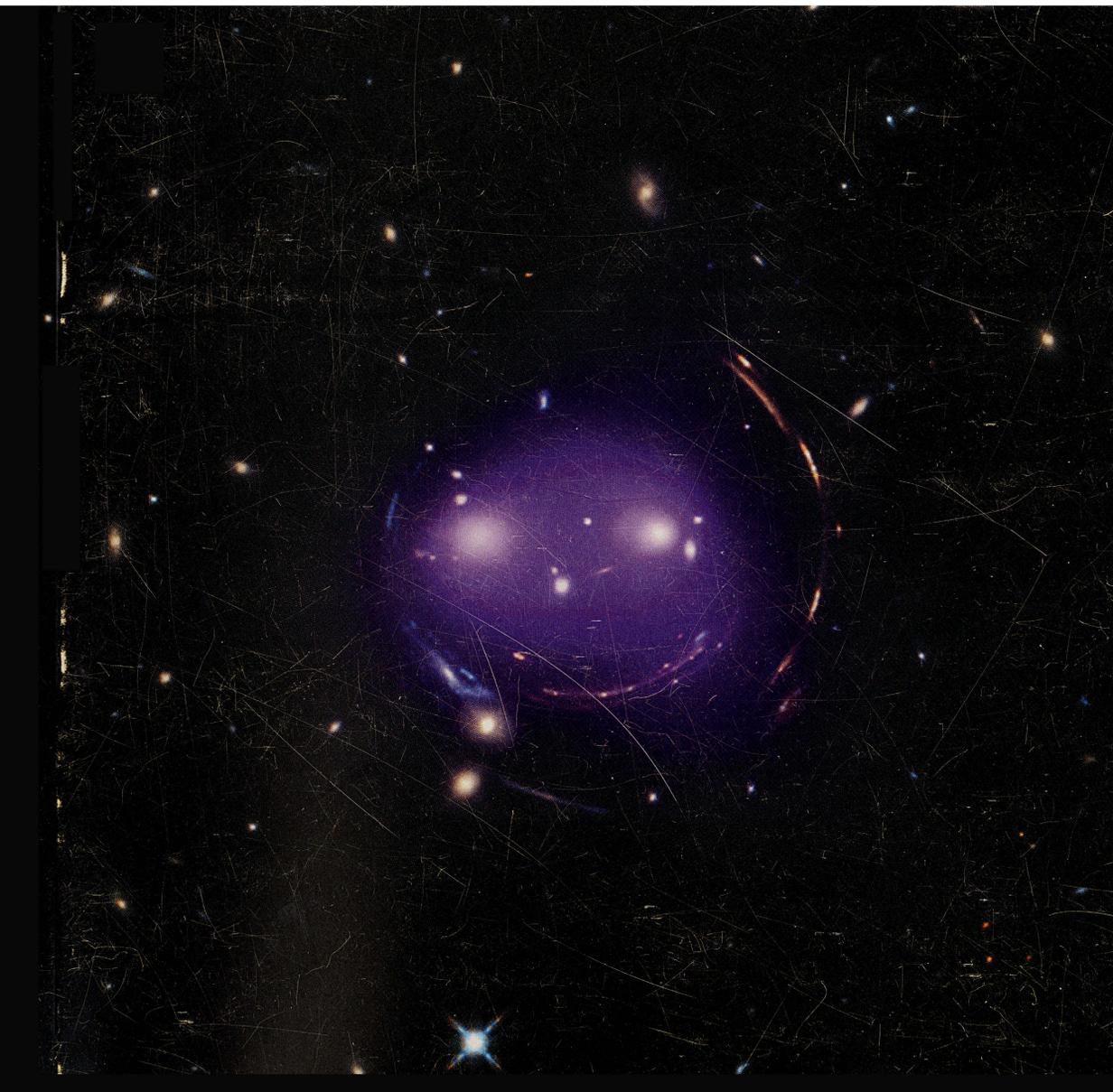
ISSN 0044-3948

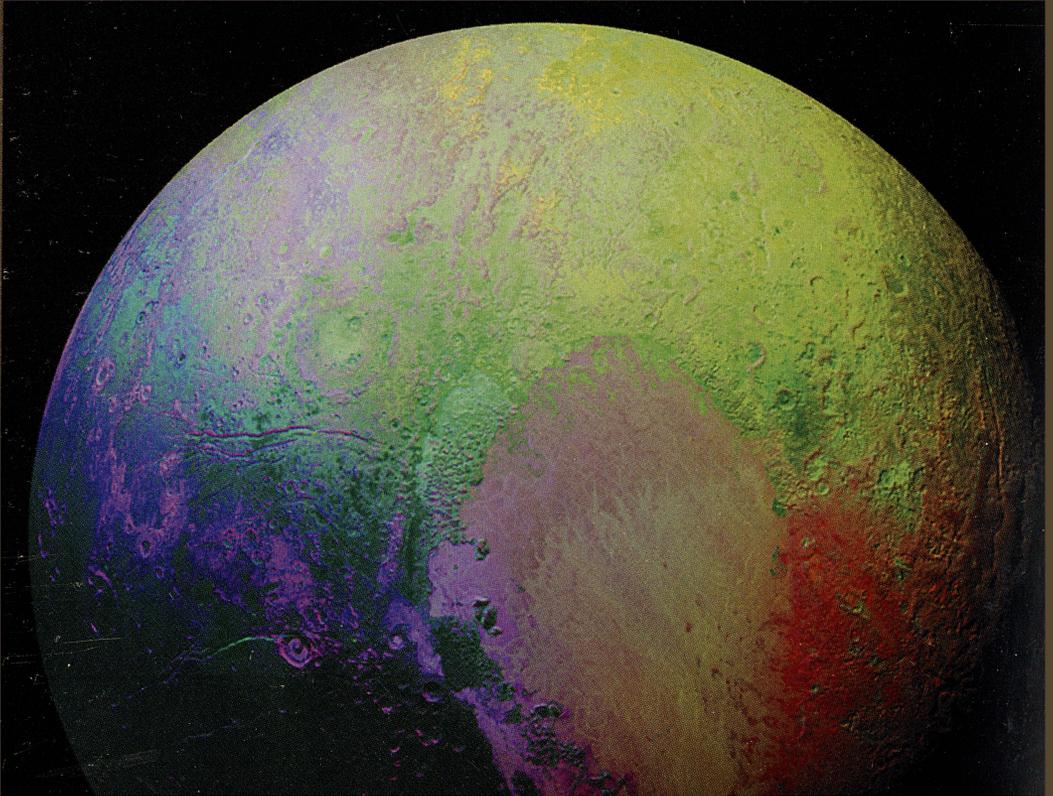
ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

КОСМОНАВТИКА
АСТРОНОМИЯ
ГЕОФИЗИКА

МАРТ-АПРЕЛЬ

2/2016





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

2/2016



Новости науки и другая информация: Радиостанция снова заработал [17]; Самое древнее галактическое скопление [18]; Солнце в октябре – ноябре 2015 г. [84]; Мало-массивные звезды в Галактике [37]; Черная дыра «поедает» звезду и испускает джеты [73]; Гравитационно линзированное галактическое скопление [99]; 46-я основная экспедиция на МКС [100]; Успешная посадка ракеты [102]; Причина потери воды на Марсе [103]; Почти идеальное кольцо Эйнштейна [104]; «Кеплер»: разрушенная планета у белого карлика [105]; «Новые горизонты»: снимки Плутона [106]; Проект «Мунспайк» [108]; Поиски гравитационных волн [109]; Взаимодействующая галактика [110]; Комета Каталина [111]; «Кассини»: Энцелад крупным планом [112]

В номере:

- 3 ФОРТОВ В.Е. Эксперимент “Плазменный кристалл” на Международной космической станции
19 ШЕМАТОВИЧ В.И. Атмосферы экзопланет

ЛЮДИ НАУКИ

- 38 Академик Владимир Евгеньевич Фортв
(к 70-летию со дня рождения)

СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

- 48 НЕФЕДЬЕВ Ю.А., ГАЛЕЕВ А.И. “Наблюдение и исследование Луны, планет и их спутников”

ИСТОРИЯ НАУКИ

- 59 ГЕРАСЮТИН С.А. Исследование кометы Галлея (к 30-летию полета АМС “Вега” и “Джотто”)

ГИПОТЕЗЫ, ДИСКУССИИ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ

- 74 ЦЫГАНКОВ О.С. Космическое происхождение жизни на Земле

ПЛАНЕТАРИИ

- 85 ЯЗЕВ С.А., СЕМЁНОВ Д.В. Иркутский планетарий

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

- 94 ЩИВЬЁВ В.И. Небесный календарь: май – июнь 2016 г.



© Российская академия наук, 2016
© ФГУП «Академиздатцентр «Наука», 2016
© Составление. Редколлегия журнала
«Земля и Вселенная», 2016

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 Science; popular, current hypotheses of the origin and development of the Earth and Universe; astronomy, geophysics and space research; Chief Editor V.K. Abalakin; Deputy Editor V.M. Kotlyakov; Deputy Editor S.P. Perov

На стр. 1 обложки: Гравитационно линзированное скопление галактик SDSS J1038+4849 (1,45 млн св. лет от нас, Большая Медведица). Фиолетовым цветом показано распределение раскаленного газа в пространстве. Изображение получено в ноябре 2015 г. космической рентгеновской обсерваторией "Чандра" (экспозиция – 19 ч 30 мин). Фото NASA (к стр. 99).

На стр. 2 обложки: Вверху – Комета Каталина (C/2013 US10) в созвездии Центавра. Снимок сделан 3 октября 2015 г. астрономом-любителем М. Мобберли (к стр. 111). Внизу – Плутон. Изображение синтезировано в искусственные цвета, чтобы выявить элементный состав грунта. Получено 14 июля 2015 г. с помощью камеры Ralph AMC "Новые горизонты" с расстояния 35 тыс. км от планеты. Фото JPL/NASA (к стр. 106).

На стр. 3 обложки: Вверху – так, в представлении художника, черная дыра разрушает и поглощает звезду (темный материал на периферии). Движение джета (вертикальная струя плазмы) близко к скорости света. Рисунок NASA (к стр. 73). Внизу – экипаж КК "Союз ТМА-19М" и 46/47 основной экспедиции на МКС Т. Пик (Великобритания, ESA), Ю.И. Маленченко и Т.Копра (США). Фото NASA (к стр. 100).

На стр. 4 обложки: Галактическое скопление MACS 0416.1-2403 ($z = 0,397$) размером 650 св. лет и массой $1,6 \times 10^{14} M_{\odot}$, расположенное на расстоянии 4 млрд св. лет от нас. Во врезке – изображение в 20 раз лучшего разрешения чрезвычайно слабой и удаленной галактики, образовавшейся спустя 400 млн лет после Большого взрыва. Снимок получен в ноябре 2015 г. КТХ. Фото NASA, ESA.

In this issue:

- 3 FORTOV V.E. "Plasma Crystal" Experiment on the International Space Station
19 SHEMATOVICH V.I. Atmospheres of Exoplanets

PEOPLE OF SCIENCE

- 38 Academician Vladimir Yevgenyevich Fortov (to the 70th Anniversary of Birth)

SYMPOSIA, CONFERENCES, CONGRESSES

- 48 NEFEDYEV Yu.A., GALEEV A.I. "Observation and Research of the Moon, Planets and their Satellites"

HISTORY OF SCIENCE

- 59 GERASYUTIN S.A. Research of Halley's Comet (to the 30th Anniversary of Flights of "Vega" and "Giotto" Spacecrafts)

HYPOTHESES, DISCUSSIONS, SUGGESTIONS

- 74 TSYGANKOV O.S. Cosmic Origin of Life on Earth

PLANETARIA

- 85 YAZEV S.A., SEMENOV D.V. Irkutsk Planetarium

AMATEUR ASTRONOMY

- 94 SHCHIV'YOV V.I. Celestial Calendar: May-June 2016

Редакционная коллегия

главный редактор член-корреспондент РАН В.К. АБАЛАКИН,
зам. главного редактора академик В.М. КОТЛЯКОВ,
зам. главного редактора доктор физ.-мат. наук С.П. ПЕРОВ,
доктор физ.-мат. наук А.А. ГУРШТЕЙН,
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
доктор исторических наук К.В. ИВАНОВ,
кандидат физ.-мат. наук О.Ю. ЛАВРОВА,
член-корр. РАН А.А. МАЛОВИЧКО, доктор физ.-мат. наук И.Г. МИТРОФАНОВ,
член-корр. РАН И.И. МОХОВ, член-корр. РАН А.В. НИКОЛАЕВ,
член-корр. РАН И.Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук М.В. РОДКИН,
доктор физ.-мат. наук Ю.А. РЯБОВ, член-корр. РАН В.А. СОЛОВЬЁВ,
кандидат физ.-мат. наук О.С. УГОЛЬНИКОВ, член-корр. РАН В.П. САВИНЫХ,
академик А.М. ЧЕРЕПАЩУК, доктор физ.-мат. наук В.В. ШЕВЧЕНКО

Эксперимент “Плазменный кристалл” на Международной космической станции

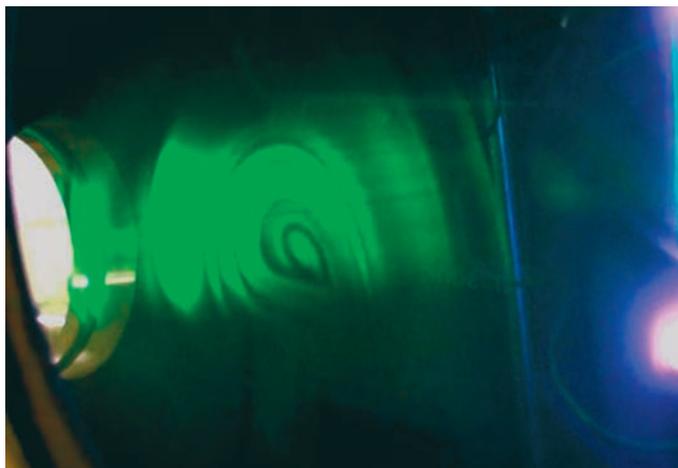
В.Е. ФОРТОВ,
академик,
Президент РАН,
директор Объединенного института высоких температур РАН

С середины 1990-х гг. произошел бурный рост исследований низко-температурной плазмы с макроскопическими частицами пылевой плазмы. Экспериментально она была получена в 1928 г. американским химиком, лауреатом Нобелевской премии 1932 г. И. Ленгмюром. В 1996 г. группой ученых Института высоких температур РАН впервые получен плазменно-пылевой кристалл в тлеющем разряде постоянного тока. Внимание специалистов к этой области физики плазмы вызвано открытием кристаллизации сильно заряженных пылевых частиц в плазме высокочастотного разряда и тлеющего разряда постоянного



тока. Повышенный интерес к изучению пылевой плазмы связан также с широким использованием технологий плазменного напыления и травления в микроэлектронике при производстве тонких пленок и наночастиц. В настоящее время бурно развивается одно из

направлений физики – исследование пылевой плазмы, включающей в себя вопросы физики плазмы, гидродинамики, кинетики фазовых переходов. Необходимо узнать больше о “поведении” плазмы, ведь большая часть вещества (99,9%) во Вселенной состоит из плазмы. Одновременно решаются и прикладные проблемы плазменных технологий, создания новых материалов. Большой объем полученной к настоящему времени новой научной информации о явлениях в пылевой плазме содержится в недавних обзорах и монографиях.



ОСОБЕННОСТИ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ

Свойства пылевой плазмы значительно многообразнее, чем обычной многокомпонентной плазмы, состоящей из заряженных частиц – электронов и ионов. Пылевые частицы микронного размера образуют центры рекомбинации плазменных электронов и ионов, а иногда они становятся источником электронов за счет фотоэмиссии, вторичной электронной эмиссии или термоэмиссии. В силу этого пылевая компонента может существенно влиять на ионизационное равновесие. Вследствие большого заряда, который приобретают пылевые частицы в плазме, их потенциальная энергия взаимодействия велика, поэтому неидеальность структуры пылевых частиц (отношение потенциальной энергии кулоновского взаимодействия между соседними частицами

к их кинетической температуре) создается намного легче, чем электрон-ионной подсистемы. Заряженные частицы, взаимодействуя друг с другом и с электрическими полями в плазме, при определенных условиях могут выстраиваться в пространстве, образуя трехмерные пылевые структуры (плазменные кристаллы), аналогичные решетчатой структуре кристаллических материалов.

Пылевая плазма – эффективный инструмент для исследования фундаментальных свойств сильно неидеальной плазмы, когда потенциальная энергия взаимодействия между частицами сопоставима с их кинетической энергией или ее превышает. Это обусловлено такими особенностями, как относительная простота получения, наблюдение и управление параметрами, малые времена релаксации к равновесию и отклик

на внешние возмущения. Измеряется структура плазмы прямым определением функции распределения пылевых частиц по координатам и импульсам, позволяя исследовать многие процессы на кинетическом уровне, что помогает понять явление в других системах, где проведение кинетических измерений невозможно.

Гравитация является критическим фактором в формировании плазменно-пылевых образований в наземных лабораторных исследованиях. В большинстве случаев в экспериментах реально достижимы достаточно тонкие двух с половиной мерные ($2\frac{1}{2}D$) или двумерные (2D) пылевые структуры. Это вызвано тем, что действующая на пылевую частицу сила тяжести может быть скомпенсирована только в узких областях приэлектродного слоя пространственного заряда в высокочастотном разряде или страты в разряде постоянного тока за счет большой напряженности имеющегося там электрического поля. В условиях микрогравитации для достижения левитации пылевых частиц нет необходимости в создании сильного электри-

ческого поля. На Земле невозможно изучить поведение массивных пылевых частиц большого размера и структур, образующихся в результате ультрафиолетового облучения. Поэтому сразу же после экспериментального обнаружения “плазменного кристалла” ставился вопрос о необходимости проведения исследований в условиях микрогравитации.

В 1998–2000 гг. в Объединенном институте высоких температур РАН совместно с РКК “Энергия” им. С.П. Королёва был выполнен ряд пио-

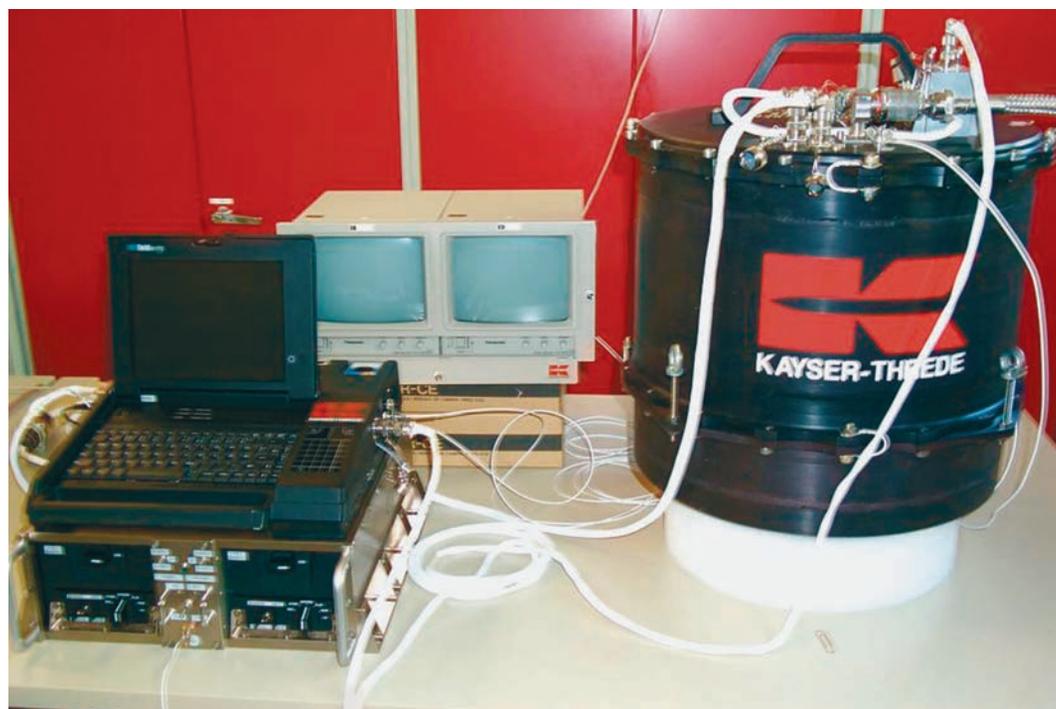
нерских экспериментов по изучению пылевой плазмы в условиях микрогравитации на борту российского орбитального комплекса “Мир”: получены данные о пылевой плазме тлеющего разряда постоянного тока и индуцированной ультрафиолетовым излучением Солнца. В 1997–1998 гг. в Институте внеземной физики Общества М. Планка (Германия) исследована пылевая плазма высокочастотного емкостного разряда в условиях микрогравитации (ускорение 10^{-2} g) в параболических полетах на самолете и в двух ракетных экспериментах (10^{-6} g в течение 6 мин). В начале 1998 г. в соответствии с программой научных исследований

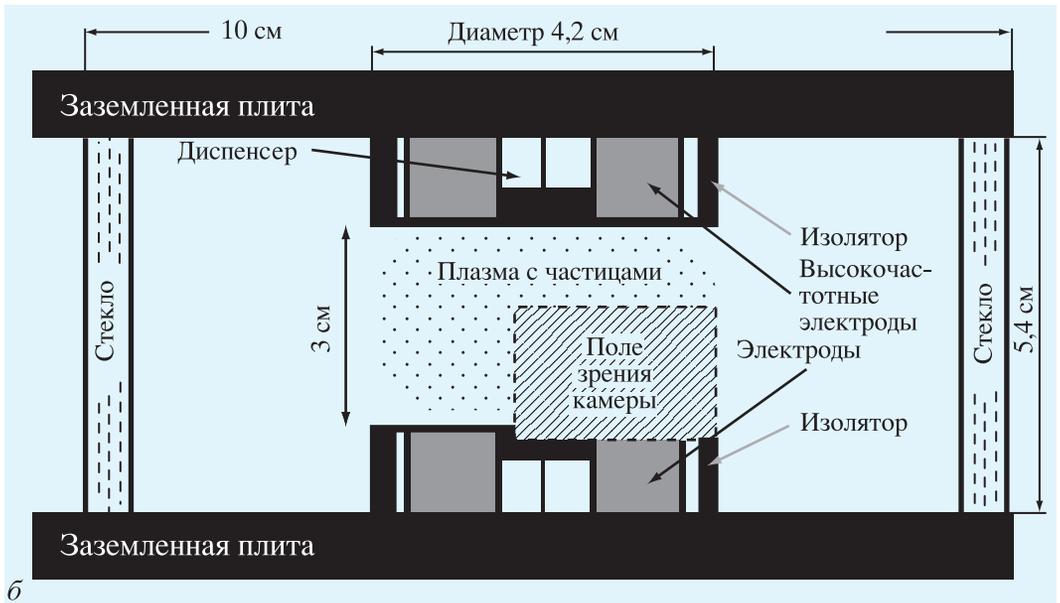
Росавиакосмоса принято решение о проведении совместного российско-немецкого эксперимента “Плазменный кристалл” на борту российского сегмента Международной космической станции. Постановка и подготовка эксперимента осуществлялась Институтом теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур РАН и Институтом внеземной физики Общества М. Планка при активном участии РКК “Энергия” им. С.П. Королёва.

АППАРАТУРА
“ПЛАЗМЕННЫЙ КРИСТАЛЛ-3”

Аппаратура “Плазменный кристалл-3” (“ПК-3”) состоит из эксперимен-

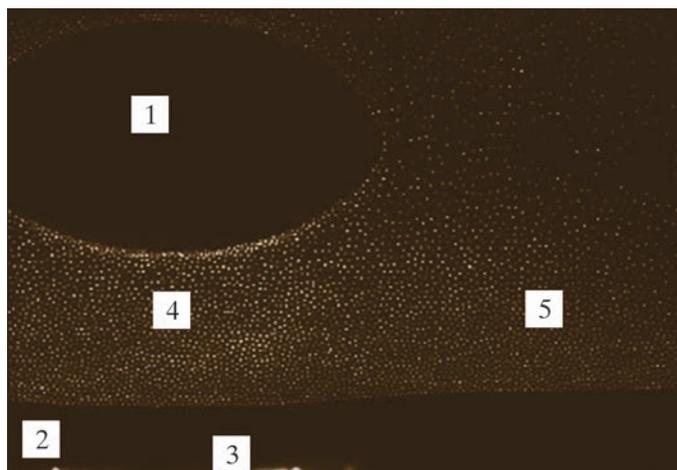
Аппаратура “ПК-3” эксперимента “Плазменный кристалл”.





Вакуумная плазменная камера: а) общий вид, б) схема внутреннего устройства.

Видеоизображение вертикального сечения плазменно-пылевой структуры с макрочастицами диаметром 6,8 мкм: 1 – void (зона, свободная от отрицательно заряженных пылевых частиц); 2 – зона без пылевых частиц (приэлектродный двойной электрический слой); 3 – электрод; 4 – область вокруг вертикальной оси плазменной камеры; 5 – зона вихревого движения заряженных макрочастиц диаметром 6,8 мкм.

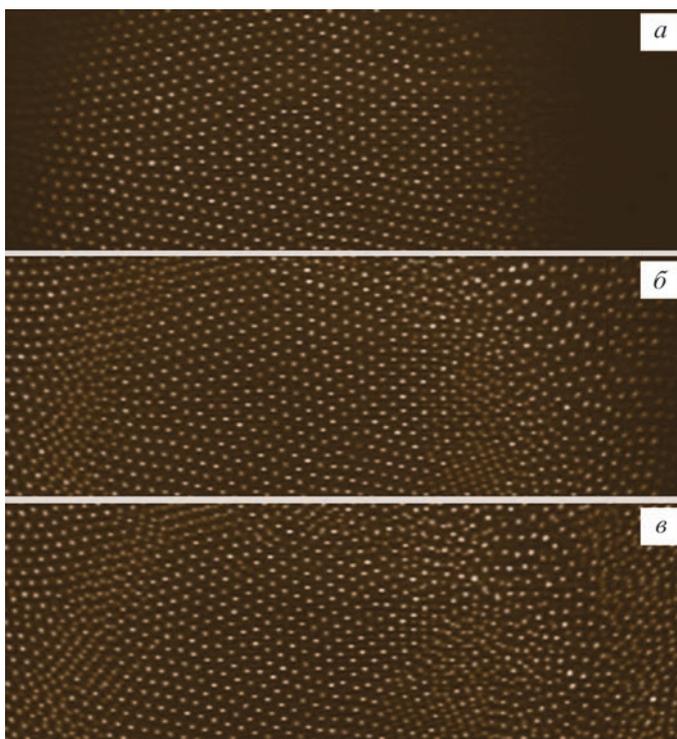


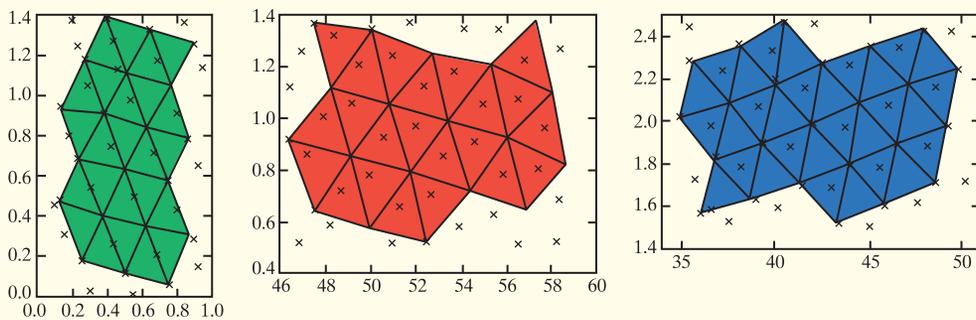
тального блока, размещенного внутри герметичного закрытого контейнера, компьютера “Телесайенс” с видеоманитофоном. Основным элементом “ПК-3” – вакуумная плазменная камера, состоящая из двух стальных квадратных плит и стеклянной вставки квадратного сечения. На одной из плит предусмотрен порт для подключения системы вакуумирования камеры, наполнения ее газом и поддержания заданного давления. На плитах укреплены дисковые электроды, создающие радиочастотный разряд, в каждом есть устрой-

ство инъекции пылевых частиц в плазму. На электроды подается переменное напряжение высокой частоты – 13,56 МГц. Величиной напряжения можно управлять в широких пределах и тем самым

мощностью, вкладываемой в разряд. В ходе экспериментов напряжения, прикладываемые к высокочастотным электродам, составляли от 10 до 50 В. Для того, чтобы создать внутри плазменной

Горизонтальные сечения структуры трех нижних слоев плазменно-пылевого образования с частицами диаметром 6,8 мкм при давлении аргона 50 Па, восстановленные по данным сканирования: а) самый нижний слой; б, в) второй и третий слой в центральной части образования.





Положение пылевых частиц в трех горизонтальных слоях: слева – объемно-центрированная решетка (всс), в центре – гранецентрированная решетка (fcc), справа – структура с гексагональной плотной упаковкой (hcp).

камеры предварительно выкачивает вакуум, использует открытый космос, турбомолекулярный насос обеспечивает в ней высокий вакуум. Эксперименты выполнялись при рабочем давлении аргона от 10 до 100 Па. Запас аргона хранится в баллоне емкостью 1 л.

Для наблюдения плазменно-пылевых структур в вакуумной камере установлено две ПЗС-камеры с объективами и два полупроводниковых лазера. Поле зрения одной камеры составляет $2,8 \times 2,1$ см, второй – одну треть от поля зрения первой и расположено в левой верхней части ее поля зрения. Лазерный луч сфокусирован в плоский пучок толщиной 150 мкм и высотой около 25 мм. С помощью полупроводникового лазера освещается срез пылевой структуры. Второй лазер установ-

лен симметрично первому на случай, если основной выйдет из строя. Вся эта оптическая система смонтирована на подвижной плите, которую можно перемещать вдоль оси ПЗС-камеры с помощью шагового двигателя, таким образом сканируя плазменно-пылевую структуру. Если скорость сканирования достаточно низкая, а плазменно-пылевая структура стабильна, то можно восстановить трехмерную картину пылевого облака.

Управление параметрами эксперимента и регистрация видео и цифровой информации, полученной в ходе эксперимента, обеспечивалось компьютером "Телесайенс".

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

3 марта 2001 г. космонавты С.К. Крикалёв и

Ю.И. Гидзенко выполнили первые эксперименты на аппаратуре "ПК-3" в условиях микрогравитации. До 2005 г. проведено 13 экспериментов в соответствии с программой полета основных экспедиций на МКС, они контролировались их постановщиками, находившимися в Центре управления полетами во время сеансов радиосвязи. Некоторые велись с Земли в режиме реального времени, когда был возможен сброс видеoinформации в ЦУП.

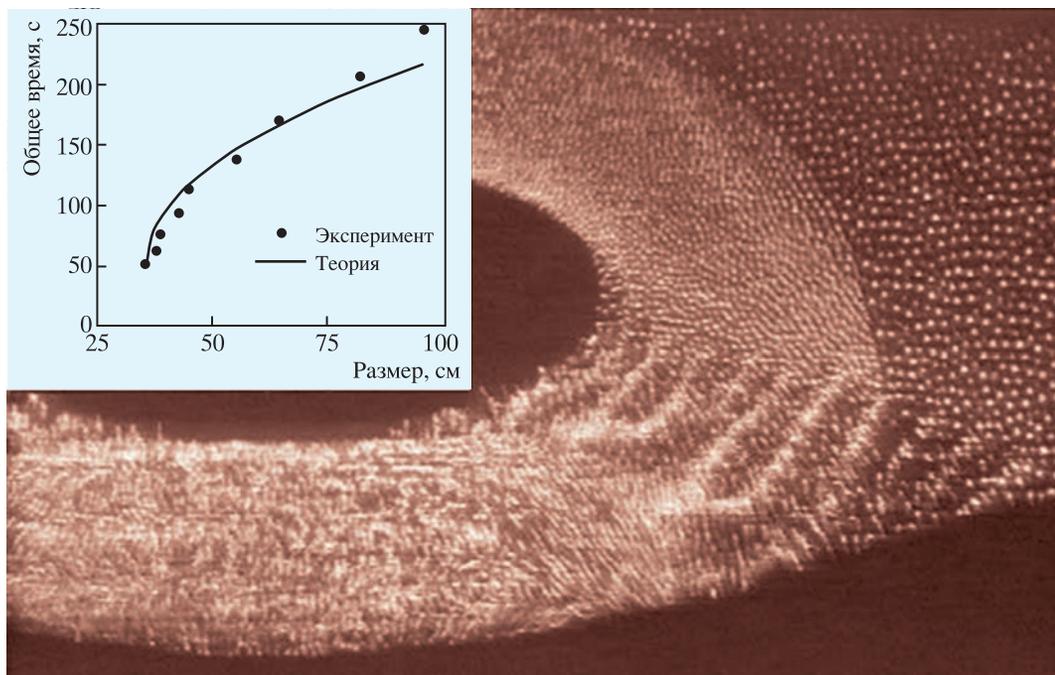
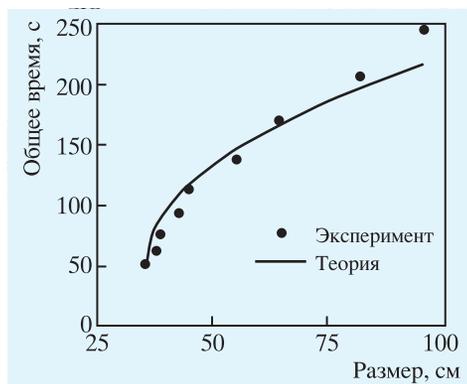
Коснемся некоторых результатов экспериментов. Характерная особенность, присущая многим наблюдавшимся в центральной части сечения плазменно-пылевой структуры, это образование войда – зоны, свободной от отрицательно заряженных пылевых частиц. Размеры войда зависят от вводимой в

разряд мощности, давления нейтрального газа и размера макрочастиц. В области войда действуют электростатическая и термофоретическая силы, сила ионного увлечения (ионный дрег). С увеличением вводимой мощности размеры войда увеличиваются, с ростом давления также наблюдается тенденция возрастания размера войда. Свободная от пылевых частиц другая зона – приэлектродный двойной электрический слой. Напряженность электрического поля в приэлектродном слое максимальна у электро-

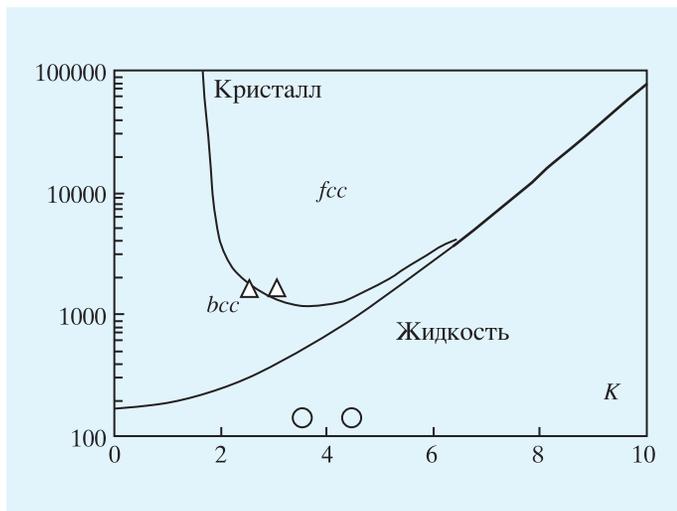
да. Начиная с некоторого значения напряженности поля, создаются условия для формирования плазменно-пылевой структуры. В условиях микрогравитации пылевые частицы заполняют весь межэлектродный плазменный промежуток, за исключением области войда и приэлектродного двойного электрического слоя. В наземной лаборатории пылевая компонента заполняет всего лишь несколько слоев вблизи нижнего электрода. В области вокруг вертикальной оси плазменной камеры наблюдается формирова-

ние хорошо упорядоченной плазменно-пылевой структуры – трехмерного плазменного кристалла. В периферийной зоне происходят вихревые движения заряженных частиц, отличающиеся от вихрей в наземной лаборатории.

В случае стабильной плазменно-пылевой структуры при определенной скорости ее сканирования возможно восстановление горизонтальных сечений пылевого облака. Анализ полученных сечений выявил возникновение объемно-центрированной (bcc) и гранецент-



Видеоизображение плазменно-пылевого образования размером 28×21 мм для смеси частиц диаметром 3,4 и 6,8 мкм в эксперименте с возбуждением пылеакустических колебаний частотой 22 Гц при давлении аргона 12 Па. Во врезке даны экспериментальные (точки) и теоретические значения.



Фазовая диаграмма дебаевской системы, полученная с помощью численного моделирования. K – структурный параметр (параметр решетки) – отношение расстояния между частицами к длине экранирования.

рированной (fcc) решеток, а также структуры с гексагональной плотной упаковкой (hcp). В условиях микрогравитации впервые экспериментально подтверждены теоретические расчеты и обнаружено формирование структур с гранецентрированной (fcc) и с объемно-центрированной (bcc) решетками. Ранее в лабораторных экспериментах на Земле в пылевой плазме высокочастотного разряда были обнаружены только fcc и hcp-структуры, что не соответствовало расчетам методом молекулярной динамики, согласно которым в случае, когда параметр неидеальности превышает единицу, то существуют плазменно-пылевые структуры (fcc) и (bcc). В условиях микрогравитации впервые экспериментально подтверждены теорети-

ческие расчеты и обнаружено формирование структур с гранецентрированной (fcc) и с объемно-центрированной (bcc) решетками.

В эксперименте с возбуждением пылеакустических колебаний, подаваемых на электроды плазменной камеры, высокочастотное напряжение модулировалось напряжением низкой частоты, которая изменялась в диапазоне от 0,5 до 100 Гц. Варьирование частоты позволяет получить зависимость длины волны от частоты, то есть дисперсионную зависимость, и провести сопоставление результатов экспериментов с теорией пылезвуковых волн. Такие эксперименты имеют диагностическую направленность, так как согласование с теорией позволяет сделать заключение о параметрах

плазменно-пылевой среды – радиус экранирования, заряд пылевой частицы.

K одной из основных сил, воздействующих на пылевые частицы в плазме, относится сила ионного увлечения, обусловленная передачей импульса от движущихся ионов заряженным пылевым частицам. Эксперименты в условиях микрогравитации показали, что она ответственна за формирование свободной от пылевых частиц зоны в центре плазменной камеры. Эта область возникает при действии на пылевые частицы силы ионного увлечения, превышающие силу электрического поля вблизи центра разряда, в результате чего частицы выталкиваются из центральной зоны. Эксперименты позволили пересмотреть теорети-

ческую модель расчета силы ионного увлечения и добиться количественного согласия с экспериментальными данными. Установлено, что при уменьшении концентрации ионов и электронов и снижении амплитуды высокочастотного напряжения пылевые частицы заполняют весь объем межэлектродного пространства плазменной камеры. В этом случае появляется возможность исследовать большие квазиизотропные плазменно-пылевые образования, что невозможно в условиях гравитации.

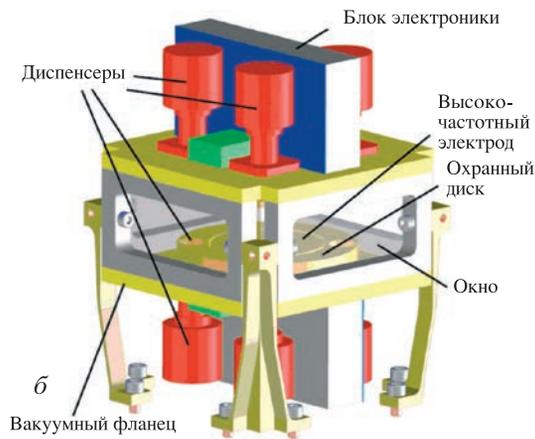
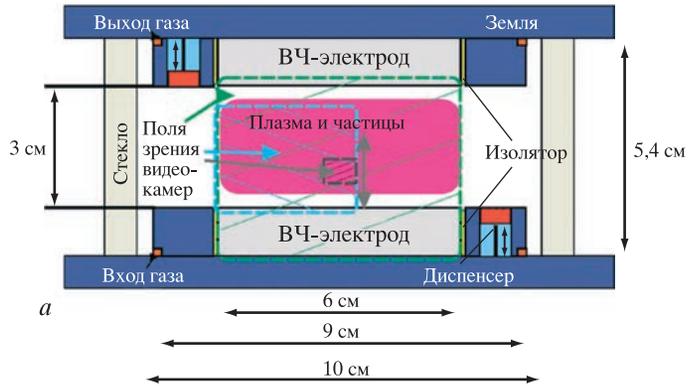
Приведем краткие итоги работы на аппаратуре "ПК-3":

- впервые получены сведения о формировании трехмерных упорядоченных структур сильно заряженных пылевых частиц с различной степенью анизотропии;

- обнаружены структуры с гранецентрированной решеткой (fcc), объемно-центрированной (bcc) и гексагональной плотной упаковкой (hcp), предсказываемая теорией, в частности, bcc-фаза впервые наблюдалась экспериментально;

- продемонстрирована возможность изучения низкочастотных волн сжатия пылевой компоненты и использования возбуждаемых волн для диагностики плазмы;

- открыта низкочастотная неустойчивость



Вакуумная плазменная камера "ПК-3 Плюс": а) схема плазменной камеры; б) трехмерное изображение с диспенсерами.

границы плазма – пылевая плазма;

- впервые наблюдалось формирование нелинейной волны плотности пылевой компоненты;

- детально изучена плазменная зона, формирующаяся в ряде экспериментов, в результате получена важная информация о силах, действующих в пылевой плазме, что привело к пересмот-

ру теории силы ионного увлечения;

- получены новые данные о транспортных свойствах пылевой плазмы, коагуляции пылевых частиц, формировании пограничных зон и росте новых частиц;

- выявлена аномальная кристаллизация трехмерной пылевой подсистемы при ступенчатом уменьшении давления.



Салижан Шарипов и Лерой Чиао (США) выполняют 12-ю сессию эксперимента "Плазменный кристалл" на аппаратуре "ПК-3 Плюс" на борту МКС. Февраль 2005 г.

АППАРАТУРА "ПЛАЗМЕННЫЙ КРИСТАЛЛ-3 ПЛЮС"

Опыт работы на установке "ПК-3" стал основой для создания значительно усовершенствованной аппаратуры "ПК-3 Плюс". В ней используется хорошо сбалансированная электродная система, обеспечивающая равномерное распределение плазмы с идентичными слоями объемного заряда на обоих электродах. Это необходимо для получения равномерного распределения микроча-

стиц в условиях микрогравитации. Плазменная камера состоит из стеклянной кюветы кубической формы с квадратным сечением. Верхний и нижний фланцы представляют собой металлические плиты, в их состав входят высокочастотные электроды (цилиндрические пластины из алюминия диаметром 6 см), находящиеся на расстоянии 3 см, электрические и вакуумные соединения. Электроды окружены заземленными экранами шириной 1,5 см, включая три дис-

пенсера микрочастиц на каждой стороне. Оптическая система регистрации пылевых частиц состоит из лазерного диода с цилиндрической оптикой для формирования лазерного "ножа", перпендикулярного поверхности электрода, и видеокамер, фиксирующих с различным разрешением отраженный под 90° свет. Камеры и лазеры смонтированы на горизонтальной подвижной плите, обеспечивающей заданную глубину сканирования пылевой плазмы.



Видеоизображения, полученные камерой большого увеличения в эксперименте по структурному фазовому переходу (давление аргона – 10 Па, частицы диаметром 6,8 мкм, частота внешнего поля – 100 Гц, концентрация пылевой компоненты – $3 \times 10^4 \text{ см}^{-3}$, температура ионов – 0,03 эВ). В плазменно-пылевой системе увеличивается упорядоченность, формируется цепочечная структура.

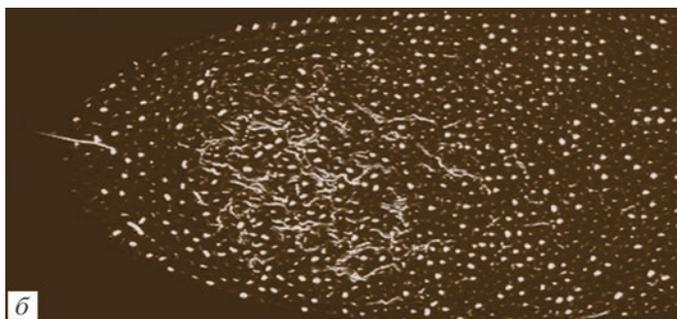
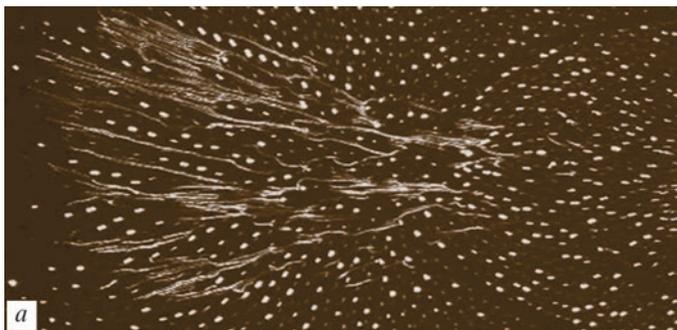
ИССЛЕДОВАНИЯ НА УСТАНОВКЕ “ПК-3 ПЛЮС”

Использование установки “ПК-3 Плюс” позволяет получить новые сведения о свойствах пылевой плазмы. Как уже отмечалось, область, свободная от микрочастиц, образующаяся в центре разряда, препятствует получению однородной и изотропной плазменно-пылевой системы. В “ПК-3 Плюс” за-

крытие центральной зоны можно выполнить тремя способами: уменьшением мощности высокочастотного разряда до минимально возможных значений; использованием симметричного газового потока; воздействием внешним низкочастотным электрическим полем. Последний способ был использован для осуществления фазового перехода от изотропной жидкостной плазменно-

пылевой системы к электрореологической плазме.

Взаимодействие между заряженными макрочастицами в пылевой плазме, индуцированное внешним переменным электрическим полем, идентично межмолекулярному взаимодействию в электрореологических (дипольных) жидкостях. Реологические свойства таких жидкостей могут изменять-



Проникновение частиц диаметром 3,4 мкм в структуру из частиц диаметром 9 мкм в плазме аргона: а) давление – 30 Па, видно формирование проходов и цепочек; б) давление – 10 Па, плазменно-пылевая система под действием низкочастотного поля; проходы и цепочки не формируются.

ся под воздействием внешнего электрического поля: в слабых полях они представляют собой “нормальные” жидкости, в полях выше критического предела ведут себя как твердые тела или как очень вязкие жидкости. Используя низкочастотные поля, аналогичный физический процесс может быть изучен на кинетическом уровне. В исследованиях к электродам, находящимся под воздействием высокочастотного напряжения, было приложено синусоидальное напряжение частотой 100 Гц с

амплитудой 13,3–32,8 В с шагом 2,2 В. При малых полях заряженные пылевые частицы образуют неидеальную плазменно-пылевую систему в жидкостной фазе с ближним порядком. Когда оно возрастает, достигая порогового значения, происходит переориентация частиц, увеличивается их упорядоченность и формируются цепочечные структуры. В этом случае ионы мгновенно реагируют на изменение поля, а пылевые частицы не реагируют. Как показывает анализ, заряженные частицы взаимодействуют

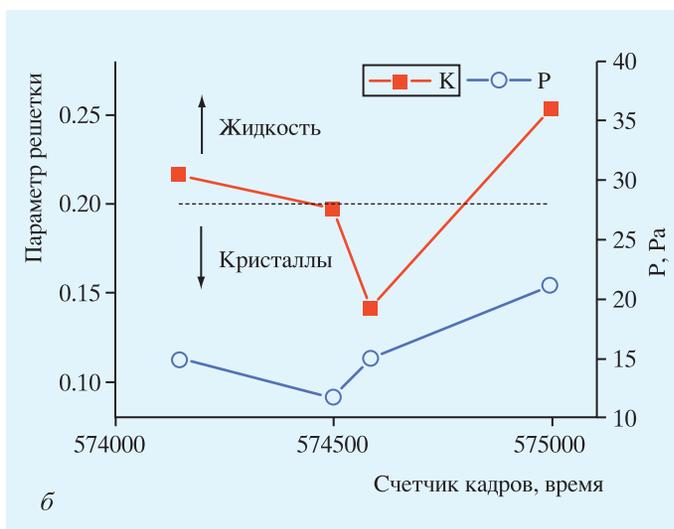
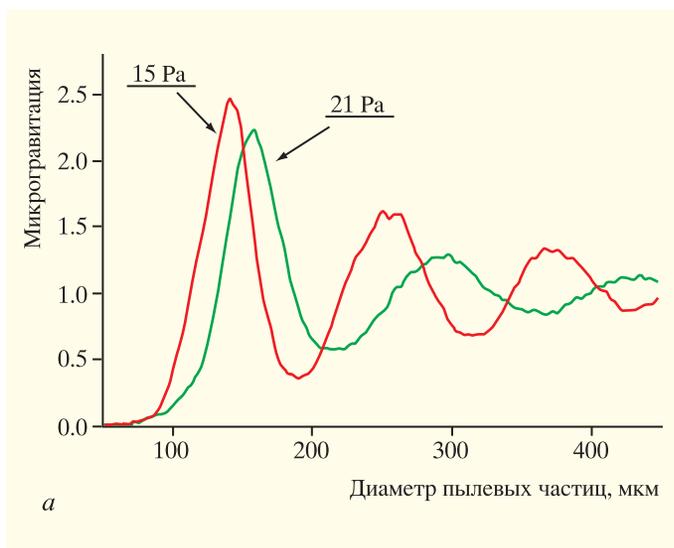
между собой идентично взаимодействию диполей в обычных электрореологических жидкостях с дипольным моментом. Таким способом можно изменять взаимодействие между частицами и величину скорости дрейфа ионов при варьировании амплитуды внешнего низкочастотного напряжения.

Другое интересное явление – взаимопроникновение двух облаков частиц различного размера. В этих экспериментах первоначально формируется структура, состоящая из частиц диаметром 14,9; 9,19 или 6,8 мкм. Затем в сформированную структуру с левой стороны камеры инжектируются частицы размером 3,4 мкм. Здесь используется удачное расположение диспенсера – его ось находится в плоскости, освещаемой лазерным “ножом”. Частицы размером 3,4 мкм проникают в стабильную структуру больших частиц и движутся к центру плазменной камеры. Во внешней зоне, когда скорость проникающих частиц достаточно велика, наблюдается формирование проходов и цепочек. Малые частицы идентифицируются в виде длинных треков, большие частицы отображаются как точки. Большие частицы также структурируются в цепочки и образуют проходы. Такое наблюдает-

Графики структурного фазового перехода в эксперименте без воздействия внешнего поля: а) парные корреляционные функции, б) изменение степени упорядоченности плазменно-пылевой структуры на границе кристаллического и жидкостного состояний.

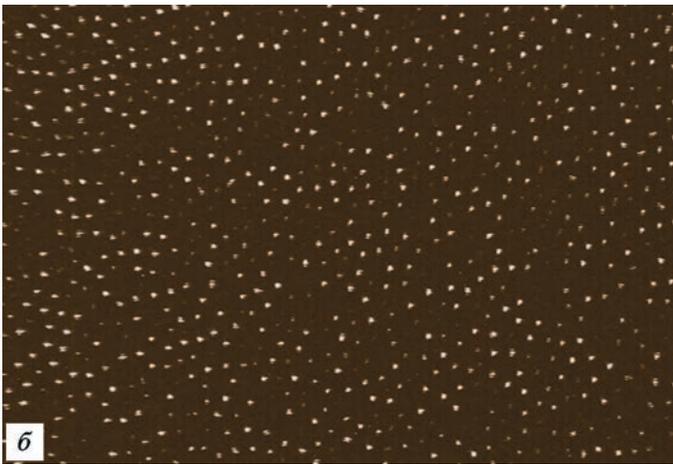
ся в природе, когда два потока частиц движутся навстречу друг другу под действием некоторой силы. Этот процесс представляет собой неравновесный переход, зависящий от особенностей и динамики взаимодействия частиц, он представляет интерес для различных областей физики. Эксперименты с пылевой плазмой в условиях микрогравитации позволяют проследить движение отдельной частицы и исследовать динамику перехода. Выполнялись также эксперименты, когда плазменно-пылевая система из больших частиц находилась в состоянии электрореологической плазмы под воздействием низкочастотного электрического поля частотой 255 Гц.

На установке “ПК-3 Плюс” исследовался переход жидкость – кристалл в большой (более миллиона сильнозаряженных пылевых частиц) трехмерной плазменно-пылевой системе. Первоначально формирова-



лась структура из частиц диаметром 1,55 мкм при давлении аргона 30 Па, затем оно снижалось до 10 Па и далее увеличивалось до 22 Па. Время цикла составляло 5 мин. В повторном аналогичном цикле изменения давления проводилось сканирование пылевой структуры на глубину 4,8 мм при скорости пе-

ремещения платформы с камерами 0,6 мм/с. Помимо этого, два других цикла изменения давления были выполнены при наложении внешнего низкочастотного поля частотой 255 Гц и амплитудой 19,8 В. Степень упорядоченности плазменно-пылевой системы свидетельствует о переходе от плаз-



Видеоизображения, иллюстрирующие плавление плазменного кристалла с ростом давления при наложенном внешнем низкочастотном поле. Частицы диаметром 1,55 мкм; а) давление аргона – 11,3 Па, б) давление аргона – 21 Па.

физики пылевой плазмы в условиях микрогравитации, полученные до 2013 г. на уникальной установке “ПК-3 Плюс”. Эксперименты выполнялись по следующим направлениям:

- упорядоченные структуры в трехмерной пылевой плазме в слабом электрическом поле;

- поиск фазовых переходов кристалл – жидкость – газ в трехмерной изотропной плазменно-пылевой системе;

- структурные фазовые переходы в трехмерной пылевой плазме при внешних воздействиях; линейные и нелинейные волны в трехмерной пылевой плазме, в том числе ударные волны;

- плазменно-пылевые неустойчивости.

В настоящее время эксперимент “Плазменный кристалл” продолжается на МКС с использованием новой научной аппаратуры “ПК-4”, который был начат в 2015 г.

менного кристалла к плазменной жидкости. Из полученных данных следует, что при снижении давления до 10 Па плазменно-пылевая система кристаллизуется. Поведение большой трехмерной плазменно-пылевой системы противоположно двумерной. Аналогичное изменение степени упорядоченно-

сти наблюдается и в случае воздействия внешнего низкочастотного поля. Значения межчастичного расстояния и плотности пылевой компоненты соответствуют эксперименту без воздействия внешнего поля.

В заключение отметим, что мы кратко отразили лишь некоторые результаты исследования

Радиоисточник снова заработал

В течение нескольких миллионов лет межзвездное облако, находящееся в системе двух сталкивающихся групп галактик Abell 1033 (расстояние 1,6 млрд св. лет от нас в созвездии Малого Льва), испускало электроны высоких энергий на радиочастотах, снижало свою активность из-за постоянной потери энергии. Как предполагают ученые, в прошлом близко к центру Abell 1033 существовала активная черная дыра. Потoki электронов высоких энергий заполнили область вокруг протяженностью сотни тысяч световых лет, поэтому эта область очень сильно излучает в радиодиапазоне. Это явление, названное “радио Феникс”, возникло, когда два скопления галактик “врезались” друг в друга, в результате чего сквозь облако проходили мощные сверхзвуковые ударные волны. Они сжимали облако и повторно возбуждали электроны, заставляя его вновь засиять в радиодиапазоне. Пик рентгеновской эмиссии расположен внизу скопления, и, скорее всего, это связано с тем, что плотное газовое ядро здесь подвержено воздействию окружающего раскаленного газа. Верхняя часть Abell 1033 излучает не столь сильно, это может быть связано с ранее разрушенным взаимодей-



Взаимодействующие скопления галактик Abell 1033, в центре которых расположено облако “радио Феникс”. Слева – яркая галактика, излучающая в радиодиапазоне. Розовым цветом показано расположение раскаленного газа в скоплениях (рентгеновский спектр, космическая обсерватория “Чандра”), зеленым – радиогалактика (радиоволны, NRAO/VLA), синим – плотность галактик (видимый диапазон, SDSS). Изображение составлено из снимков, полученных в разных диапазонах. Фото NASA, NRAO, SDSS.

ствующим скоплением или еще не начавшим сливаться. Скорее всего, “радио Феникс” появился недавно, так как подобные источники исчезают очень быстро – когда они располагаются близко к центру скопления, как это происходит в Abell 1033. Процесс взаимодействия скоплений галактик продлится еще в течение нескольких десятков миллионов лет.

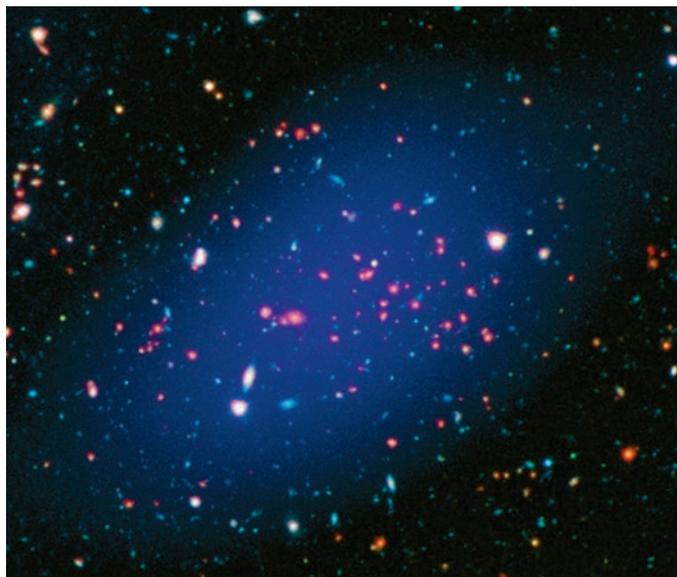
Редкое явление астрофизики наблюдали с помощью космической рентгеновской обсерватории “Чандра”, радиотелескопы VLA в США и Westerbork Synthesis в Нидерландах, а также ис-

пользовались данные в оптическом диапазоне Слоановского цифрового обзора неба SDSS. Известно, что скопления галактик – самые большие структуры во Вселенной, объекты которых все еще связаны друг с другом гравитационными силами. Они состоят из сотен или даже тысяч галактик, темной материи и огромных полостей, заполненных горячим газом, которые светят в рентгеновском диапазоне. Если удастся понять, как эти группы растут, то будет раскрыта тайна эволюции Вселенной.

Пресс-релиз NASA,
31 августа 2015 г.

Самое древнее галактическое скопление

Недавно космические обсерватории “Спитцер” и “WISE” обнаружили сверхскопление гравитационно связанных тысяч галактик MOO J1142+1527 в созвездии Эридана. С помощью 23 радиотелескопов CARMA в обсерватории в Калифорнии удалось измерить массу сверхскопления – $10^{15} M_{\odot}$, 10-м телескоп Обсерватории им. В. Кека и 8-м телескоп Обсерватории Джемани на Гавайях определили расстояние до него – 8,5 млрд св. лет. Это самая массивная структура на таком удалении, относящаяся к Массивным объектам повышенной плотности (Massive Overdense Object). С течением времени они укрупняются, поскольку постоянно приобретают новых членов. Но как эти группы эволюционируют? На что они были похожи миллиарды лет назад? Для того, чтобы ответить на эти и многие другие вопросы, необходимо заглянуть как можно дальше в прошлое



Сверхскопление галактик MOO J1142+1527, находящееся в Эридане на расстоянии 8,5 млрд лет от нас. Полученные в инфракрасном спектре данные окрашены в красный цвет (космическая обсерватория “Спитцер”), в видимом диапазоне – зеленый и синий (Обсерватория Джемани), в радио диапазоне – фиолетовый (радиотелескопы CARMA). Изображение составлено из снимков, полученных в разных длинах волн. Фото NASA/JPL, Gemini, CARMA.

Вселенной. Основываясь на полученных данных, астрономы сделали заключение, что такие гигантские галактические группы растут и эволюционируют с момента рождения Вселенной; сверхскопление MOO J1142+1527 входит в пятерку самых массивных, существовавших в начальный период развития

Вселенной. В 2016 г. группа ученых из Лаборатории реактивного движения NASA планирует проанализировать более чем 1700 дополнительных кандидатов, чтобы найти еще более древнее галактическое скопление.

Пресс-релиз JPL/NASA,
6 ноября 2015 г.

Атмосферы экзопланет

В.И. ШЕМАТОВИЧ,
доктор физико-математических наук
Институт астрономии РАН

На заре открытия внесолнечных планет (экзопланет) в середине 1990-х гг. мало кто верил, что изучение их атмосфер когда-либо будет возможно. После открытия в 2002 г. с помощью Космического телескопа им. Хаббла атмосферы у транзитной экзопланеты HD 209458b многие скептики оценили это событие лишь как одноразовый успех. В настоящее время основные направления исследований атмосфер экзопланет твердо установлены благодаря наблюдениям нескольких десятков



их атмосфер. Это позволило расширить наши представления об атмосферах экзопланет, оказавшихся различными по температуре, излучению, содержанию

химических элементов. Состав атмосферы может изменяться в зависимости от того, где и когда сформировались планеты, что позволяет проследить историю их образования; будущие наземные и космические телескопы, возможно, найдут атмосферные биомаркеры в потенциальных обитаемых зонах вокруг других звезд, то есть инструмент поиска внеземной жизни. Конечная цель изучения атмосфер экзопланет состоит в том, чтобы ответить на извечный вопрос – одиноки ли мы во Вселенной?

КАК ВОЗНИКЛИ АТМОСФЕРЫ
ЭКЗОПЛАНЕТ?

Одним из наиболее значимых достижений в фундаментальных космических исследованиях в последние десятилетия стало открытие внесолнечных планетных си-

стем (Земля и Вселенная, 1995, № 6, с. 61; 2000, № 1, с. 67). Их изучение в инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах позволили получить первые оценки важнейших характеристик (состав и тепловое состояние) атмосфер объектов раз-

личной массы. Сейчас ученые пытаются решить проблемы образования, устойчивости и эволюционного статуса атмосфер планет в других звездных системах с помощью математического моделирования и реализации развернутых наблюда-

тельных компаний наземными и космическими телескопами. Необходимо ответить на основные вопросы современной астрофизики: как образуются и изменяются во времени планеты, каким образом возникли планетные системы и почему появилась жизнь на Земле? Изучая Солнечную систему, мы связываем “локальные” исследования с вопросом о существовании похожих на Землю внесолнечных планет и условий, ожидаемых на их поверхности (Земля и Вселенная, 2012, № 1, с. 32; 2012, № 2, с. 102; 2015, № 1, с. 75–76; 2015, № 6, с. 13).

Многолетние наблюдения говорят о том, что жизнь на Земле может сильно повлиять на состав и перемены, происходящие в атмосфере нашей планеты. Между тем в окрестностях далеких звезд обнаружено 1931 подтвержденных экзопланет, принадлежащих к 1222 планетным системам, и это число продолжает расти (Земля и Вселенная, 2005, № 4–6; 2009, № 1; 2010, № 4; 2011, № 3; 2012, № 6; 2014, № 5). Кандидатов на звание экзопланет куда больше: космическая обсерватория “Кеплер” насчитала свыше 4 тыс. потенциально возможных планет. Идет разработка методов детального изучения атмосфер этих тел. Конечная цель – найти в

атмосфере биомаркеры, указывающие на существование инопланетной жизни. К наиболее перспективным направлениям изучения атмосфер относятся: транзиты суперземель (класс экзопланет, масса которых превышает массу Земли, но значительно меньше массы газовых гигантов), вращающихся в обитаемой зоне звезд класса красных карликов; прямая визуализация наиболее близких аналогов Земли с помощью космических инструментов.

Звездные системы рождаются из скоплений газа и пыли, разбросанных в космическом пространстве. Такие скопления вещества формируют огромные диски с активной молодой звездой (или звездами) в их центре (Земля и Вселенная, 1988, № 5; 2001, № 1, с. 47). Протопланеты возникают от пыли до планетезималей и планетных зародышей в течение от нескольких миллионов до десятков миллионов лет. Растут протопланеты за счет массивных газовых водородно-гелиевых оболочек первичной туманности. Захват и удержание части местного газа туманности зависят от ее состояния и эволюции звездного излучения, а также плазмы звездного ветра у родительской звезды. Этот процесс создает первичную атмосферу планеты до тех пор, пока не

происходит истощения локальных ресурсов вещества в диске за счет воздействия звездного ветра и излучения. Во внутренних зонах ранней звездной системы испарение пыли и газа из диска может происходить на протяжении 3 млн лет, в то время как на его “краях” удаление вещества, скорее всего, займет больше времени. У планетных зародышей есть больше времени, чтобы собрать вещество, и, следовательно, они могут стать более массивными. Захват газа туманности может достичь стадии, когда скорость аккреции газа превышает скорость падения твердого вещества, так что планета развивается очень быстро в газовый гигант, подобный Юпитеру.

Недавно открыты маломассивные планеты, массы и радиусы которых определили по данным космических обсерваторий “Corot” и “Кеплер” (Земля и Вселенная, 2007, № 5, с. 61; 2011, № 6). Известно, что существует переход между малыми экзопланетами земного типа и подобными Нептуну. Многие каменные планеты, возможно, сохранили свои захваченные водородные оболочки на протяжении всего времени их формирования. Установлено, что у большинства суперземель с радиусами около $1,6 R_3$ слишком



Схематическое представление формирования звезды и ее планетной системы. На нижних вставках показаны различные стадии этого процесса: начиная от гравитационного возмущения плотного молекулярного облака и завершая образованием планетной системы на примере Солнечной системы.

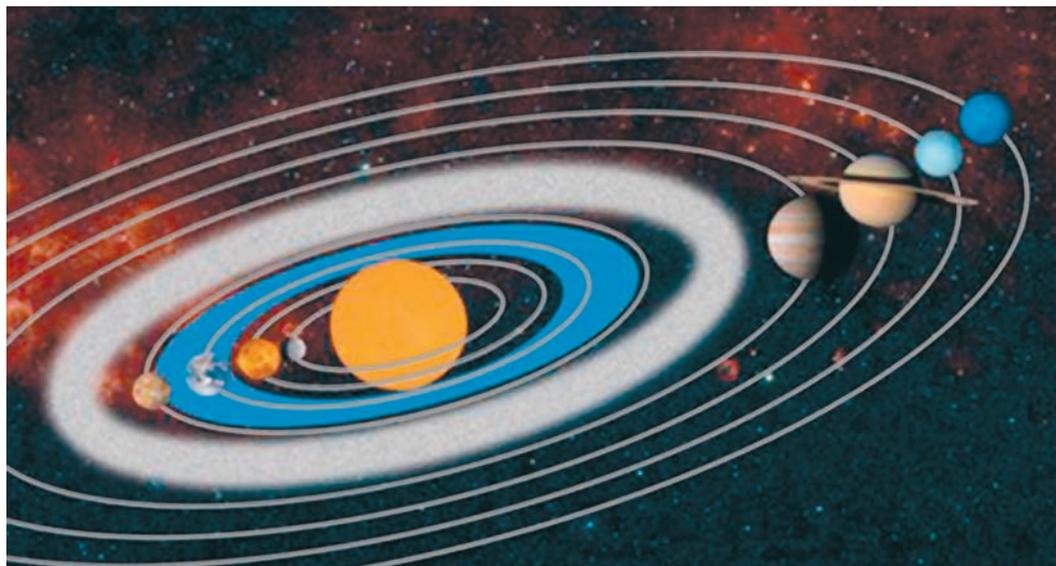


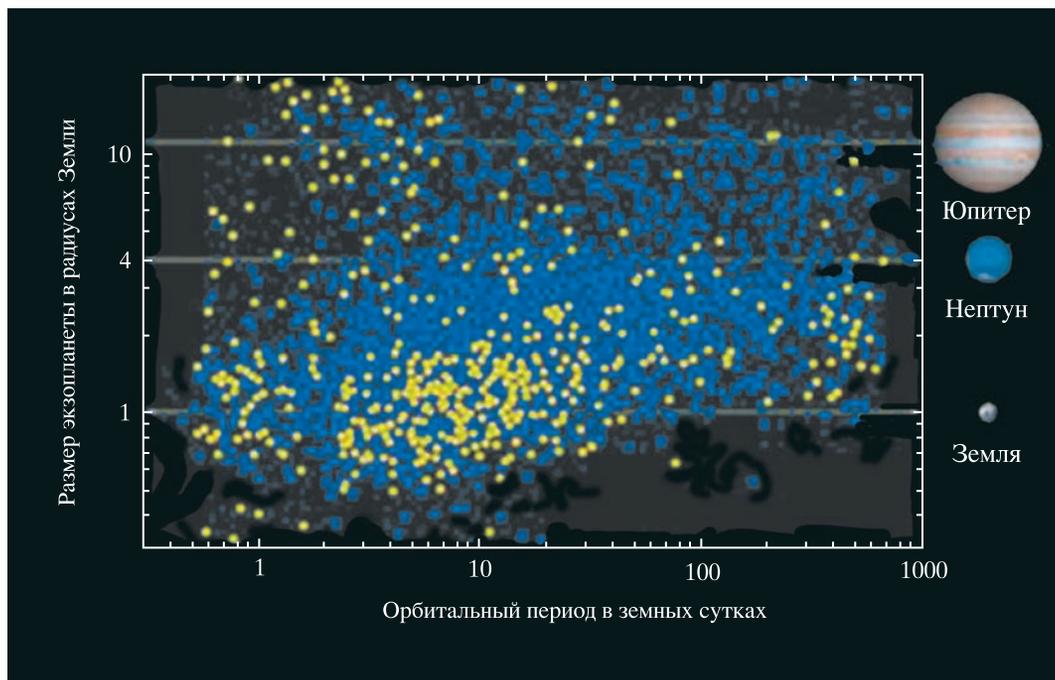
Схема строения Солнечной системы. Включает внешние газовые гиганты – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и внутренние каменные планеты – Меркурий, Венера, Землю, Марс. Пояс астероидов показан серым цветом, зона обитаемости – голубым.

низкая плотность, чтобы состоять только из железа и силикатов. Также обнаружено, что планеты с массами ядра менее $1 M_3$, которые подвергаются воздействию звездного мягкого рентгеновского и крайнего ультрафиолетового излучения от средней молодой звезды солнечного типа, иногда теряют свои первичные газовые водородные оболочки, захваченные их протопланетной туманностью во время активной фазы насыщения этим излуче-

нием. Однако скалистые ядра в пределах множества суперземель с массами ядра более $1 M_3$, скорее всего, не избавятся от первичной водородной атмосферы.

Планеты, у которых были слишком низкие массы во время роста (когда газ туманности еще не испарился), но они закончили аккрецию на несколько десятков миллионов лет позже, – производят паровые атмосферы за счет катастрофической дегазации при затвердевании магматических океанов. Тот же сценарий ожидает скалистые планеты, теряющие свои захваченные из туманности водородные оболочки. Энергия, достаточная для плавления мантии планеты и создания океана жидкой магмы, формируется за счет

столкновений с крупными планетезималями или планетарными зародышами или распада короткоживущих радиоактивных изотопов. Со временем тепло планеты постоянно излучается в космос, позволяя магме остыть и, в конечном итоге, затвердеть. Жидкая магма содержит большое количество летучих веществ, накопленных в процессе аккреции. Поскольку H_2O и CO_2 не могут быть захвачены в больших количествах твердой фазой, то эти летучие испаряются при затвердевании вместе с небольшим процентом других летучих, таких как углеродные соединения CO_2 и, по-видимому, CH_4 , N_2 и NH_3 . Все они входят в состав атмосфер и тем самым вносят изменения в уже существующие.



ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТЫ

Отправной точкой в поиске других планетных систем считается хорошо известная структура Солнечной системы. Близко к Солнцу располагаются четыре каменные планеты – Меркурий, Венера, Земля с Луной и Марс. Все они высокой средней плотности – $3,5\text{--}5,5 \text{ г/см}^3$, и, за исключением Меркурия и Луны, обладают атмосферами. Они удалены от Солнца на расстояние $0,4\text{--}1,5 \text{ а.е.}$, в то время как планеты-гиганты газовой природы находятся гораздо дальше – до $5\text{--}30 \text{ а.е.}$ Эту группу возглавляет Юпитер массой $318 M_{\oplus}$ и $1/1047 M_{\odot}$. Все гиганты обладают кольцами разной плот-

ности и огромным числом лун: у Сатурна их 62. Между орбитами Марса и Юпитера размещается Главный пояс астероидов – многие тысячи тел небольших размеров – от сотен метров до нескольких километров, но преимущественно около сотни километров. Орбиты транснептуновых объектов в поясе Койпера начинаются с 39 а.е. до 50 а.е. и дальше; их характерным примером служит двойная система Плутон – Харон (Земля и Вселенная, 1979, № 2; 2006, № 2; 2007, № 2; 2008, № 6). Многочисленная “группа населения” Солнечной системы – кометы с типичными размерами небольших астероидов – находятся на очень вытянутых орбитах

Диаграмма распределения 4696 кандидатов в экзопланеты, обнаруженных космической обсерваторией “Кеплер” к июлю 2015 г. Синими кружками отмечены экзопланеты, открытые к январю 2015 г.; желтыми – за полгода 2015 г. По данным В. Станцел, NASA.

с перигелием часто даже ниже орбиты Меркурия и с афелием в десятки тысяч астрономических единиц (у долгопериодических комет). Там, вдалеке, подобные тела образуют Облако Оорта, откуда под действием гравитационных полей разного происхождения они иногда (или периодически) отправляются к Солнцу. Если орбиты планет располагаются

примерно в одной плоскости, близкой к плоскости эклиптики, то кометы могут прилетать откуда угодно.

Планеты (в отличие от звезд) не излучают собственный свет, а их отраженный свет настолько слаб, что увидеть его можно лишь в исключительных случаях. Поэтому для поиска экзопланет преимущественно используются два косвенных метода – доплеровский и транзитный (Земля и Вселенная, 2015, № 5). Первый основан на обнаружении смещения звезды вокруг общего с планетой центра массы, а второй фактически сводится к поиску тени планеты.

Доплеровский метод полагается на высокоточные спектрометры, которые фиксируют колебание звезды вдоль оси, направленной на наблюдателя. Если звезда удаляется, то ее свет смещается в красную область, если приближается – то в синюю. На оптический спектр практически не оказывает влияния атмосфера, поэтому “ловить планеты” доплеровским методом можно с Земли с помощью обычных телескопов. Однако значительные колебания могут быть вызваны только очень массивными объектами, расположенными вблизи звезды, поэтому большинство открытых таким способом экзопланет неминуемо оказыва-

ются гигантами. Если же нам интересны скорее небольшие, более схожие с Землей планеты – тогда этот метод поиска нам не подойдет. Транзитный метод основан на анализе интенсивности света (блеска) звезды, а не спектра. Это значит, что телескоп, охотящийся за экзопланетами транзитным методом, необходимо вывести не только за пределы атмосферы, но и за окрестности Земли, которая, в противном случае, будет мешать прибору своим постоянно меняющимся отраженным светом.

Настоящий прорыв в поисках экзопланет достигнут после запуска на гелиоцентрическую орбиту космической обсерватории “Кеплер” (Земля и Вселенная, 2009, № 4, с. 44–45). Большая удаленность от Земли обусловила исключительную чувствительность прибора. С 2009 г. “Кеплер” искал следы планет, измеряя уровень яркости свечения звезд на относительно небольшом участке неба, расположенном между созвездиями Лебедя и Лиры, одновременно наблюдая за 150 тыс. звезд. При прохождении планеты на фоне звезды яркость и уровень получаемого сигнала падают. По величине падения яркости судят о размерах планеты, вычисляется температура на ее поверхности и состав атмосферы по изме-

нениям спектра свечения и другим характеристикам света. По периодичности фиксируемых явлений делаются выводы об орбитальном периоде. “Кеплер” использует метод транзитов: следя за малейшими “провалами” в яркости звезд, выбранных на небольшом участке неба, астрономы выявляют кандидатов в экзопланеты, затем методом спектроскопии подтверждают их статус. Среди всего многообразия планет наибольший интерес представляют два их параметра: сходство с Землей и близость к зоне обитаемости – области пространства вокруг звезды, внутри которой на планете может существовать жидкая вода.

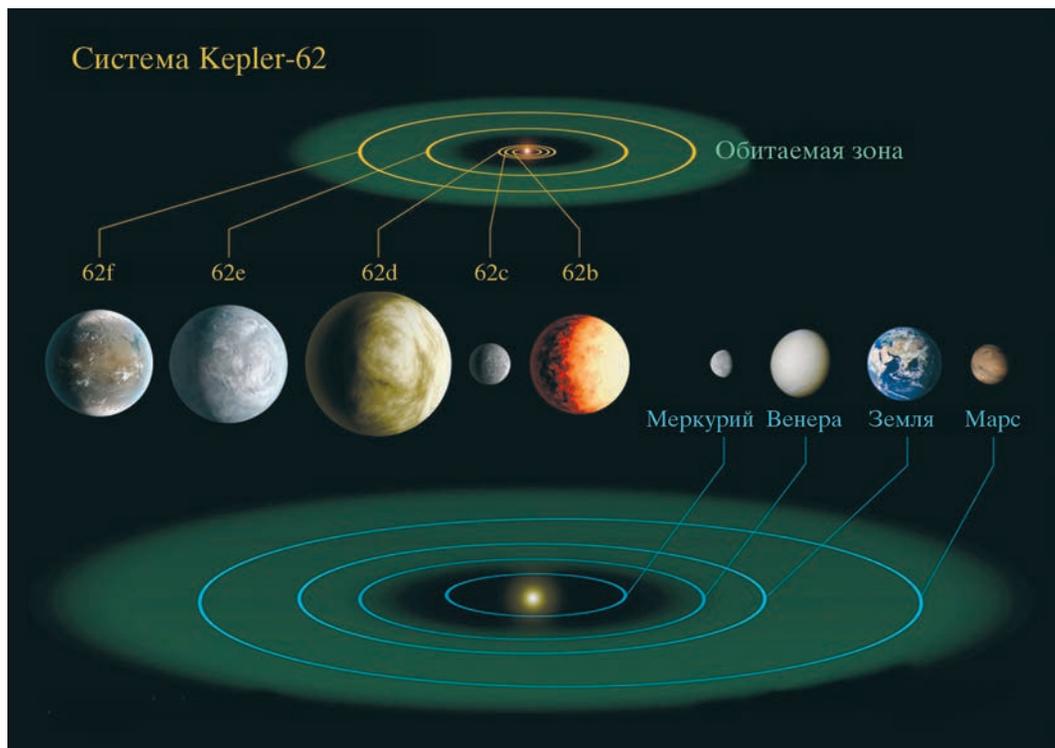
Внесолнечные планеты занимают широкий диапазон значений по массе и эффективной температуре. Выделим следующие группы:

- горячие (экстремально горячие) юпитеры с планетными радиусами 6–15 R_3 и эффективными температурами 1300–3000 К на близких к звезде орбитах:

- газовые гиганты с эффективными температурами 500–1500 К, удаленные от звезды на несколько а.е.;

- горячие нептуны и мини-нептуны с радиусами 2–6 R_3 и эффективными температурами 700–1200 К;

Система Kepler-62



– суперземли с радиусами в диапазоне 1–2 R_3 и эффективными температурами около 500 К.

Хотя у некоторых из перечисленных объектов нет прямых аналогов в нашей планетной системе, однако обилие первичных элементов (Н, С и О) в их атмосферах сравнимо с данными для планет Солнечной системы. Одной из наиболее интересных групп представляются суперземли (Земля и Вселенная, 2015, № 6, с. 13). Так, например, совсем недавно во внесолнечной планетной системе Kepler-62 (созвездие Лир, расстояние – 1200 световых лет) были открыты сразу

пять планет, из них около родительской звезды вращаются суперземли Kepler-62e и Kepler-62f, расположенные в потенциальной зоне обитаемости и наиболее близкие к Земле по своим параметрам.

Звезда Kepler-62 классифицируется как карлик К2. Она значительно старше Солнца (около 7 млрд лет) и на 1/5 по яркости и почти на треть по размеру меньше его. Планеты Kepler-62e и Kepler-62f обладают массой, равной примерно 1,6 и 1,4 M_3 , периодом обращения 122,4 и 267,3 земных суток. Kepler-62e получает на 20% больше тепла и радиации,

Сравнительные размеры обитаемых зон системы у звезды с землеподобными экзопланетами Kepler-62e, Kepler-62f (вверху) и Солнечной системы (внизу).

чем Земля от Солнца, на Kepler-62f в принципе климатические условия должны соответствовать необходимым для существования жизни.

МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ И СТАТИСТИКА

Прямое получение изображений, а, тем более, спектров внесолнечных планет – очень трудная задача, доступ-

ная только крупнейшим современным телескопам, и то только для горячих молодых планет, удаленных на десятки астрономических единиц от своей звезды. Однако существует сильный не прямой метод, позволяющий получать грубые спектры транзитных экзопланет. Если это транзитная планета (регулярно проходит по диску звезды), то становится

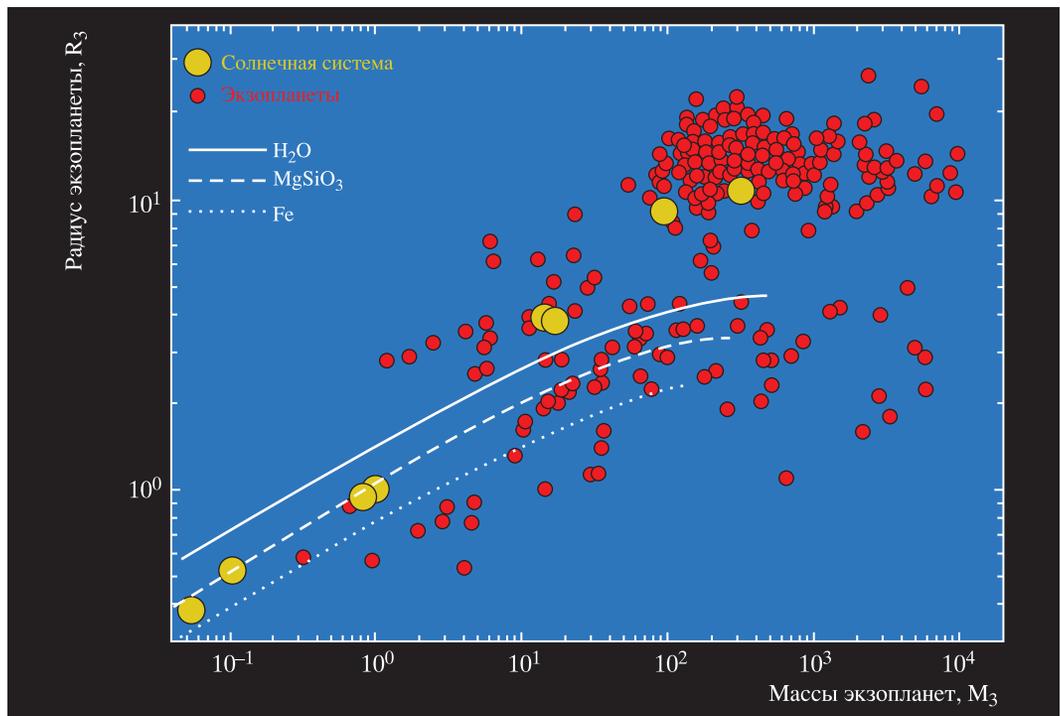
возможным измерить зависимость глубины транзита (а также вторичного минимума) – от длины волны, то есть провести трансмиссионную (эмиссионную) спектроскопию планеты. Подобные наблюдения уже были проведены для ряда горячих юпитеров, что позволило обнаружить в их составе натрий, водяной пар, метан и другие летучие вещества, измерить температуру дневного полушария.

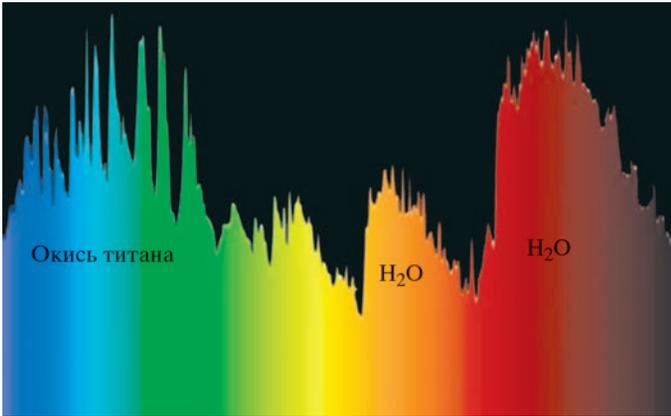
Трансмиссионная спектроскопия (анализ зависимости глубины транзитов от длины волны) – мощный метод изучения транзитных экзопланет. С его помощью астрономы уже идентифицировали множество различных атомов

и молекул в атмосферах транзитных планет-гигантов. Однако если атмосфера экзопланеты затянута облаками или дымкой, то этот метод не действует: облака закрывают собой более плотные слои атмосферы, и спектр планеты становится лишенным каких-либо деталей. Обнаружение экзопланеты с чистой, безоблачной атмосферой считается большой удачей, поскольку отсутствие облаков позволяет определить ее химический состав.

Метод измерения радиальной скорости звезды позволяет оценить минимальную массу планеты $M_p \sin i$, наблюдение транзитов – радиус планеты, так как глубина

Диаграмма зависимости массы от радиуса для каменных и газовых экзопланет. Желтыми кружками обозначены планеты Солнечной системы, красными – экзопланеты. По данным Л. Зенг и Э. Сассел, 2013 г.





Спектр пропускания горячего юпитера HD 189733b массой $1,13 \pm 0,03 M_{\text{Ю}}$, находящегося в созвездии Лисички на расстоянии 63 св. лет от нас.

АТМОСФЕРЫ ГОРЯЧИХ ЮПИТЕРОВ

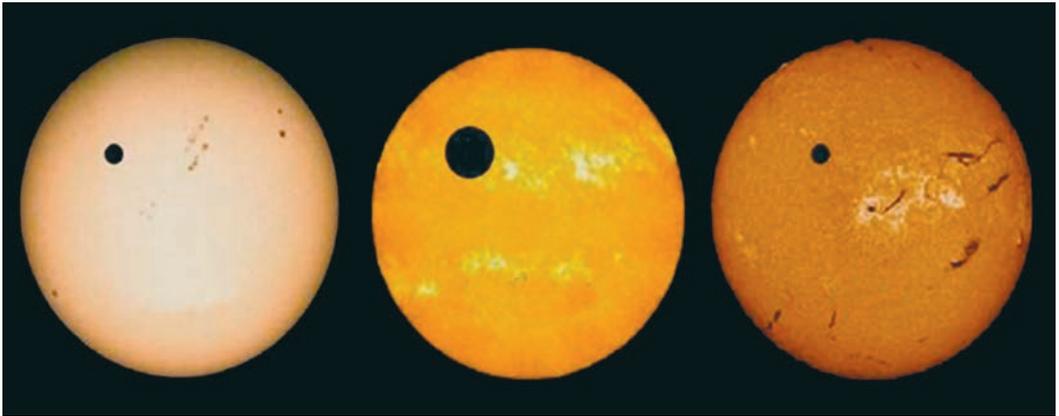
Наиболее интенсивно исследуются экзопланеты, относящиеся к классу горячих юпитеров (Земля и Вселенная, 2002, № 5, с. 110). Дело в том, что эти массивные газовые гиганты массой порядка $M_{\text{Ю}}$ расположены в непосредственной близости от звезды на низких орбитах, не превышающих 0,1 а.е., что обеспечивает возможность получения наиболее качественных данных. Наблюдение горячих юпитеров с использованием КТХ свидетельствует о наличии сложных физических процессов в газовых оболочках (атмосферах) этих планет. Недавние исследования показали, что поглощение в линии Ly_α во время транзита для экзопланеты HD 209458b достигает 9–15%. Между тем, диск планеты вызывает уменьшение блеска звезды всего на 1,8%. Это означает, что планета окружена протяженной оболочкой нейтрального водорода, выходящей за пределы полости Роша. Позднее это явление было подтверждено фик-

затмения звезды в видимом свете пропорциональна соотношению $(R_p/R^*)^2$, где R^* – радиус звезды. Этих данных недостаточно для получения средней массовой плотности. Если построить по всей доступной статистике для экзопланет с известными параметрами диаграмму масса – радиус планеты относительно параметров Земли, то можно увидеть, что выше сплоченной кривой располагается область газовых планет, ниже – область каменных планет. Для этих экзопланет по формуле $T_{\text{eq}} = T^* (R^*/2p)^{1/2}$ определяется равновесная температура планеты, где T^* – температура звезды, p – перицентр орбиты планеты. Из диаграммы масса – равновесная температура планеты следует возможный тип атмосферы: водородно-гелиевая и/или паровая $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{N}_2$.

К настоящему времени спектры поглощения и

свечения получены лишь для нескольких экзопланет, преимущественно из группы горячих юпитеров и нептунунов. Например, для горячих юпитеров HD 209458b и HD 189733b идентифицированы атомы H, He, C, O, Mg, Si, Na, K и молекулы H_2 , H_2O , CH_4 , CO, CO_2 , а также замечены облака и дымки из силикатов и окислов металлов.

Рассмотрим, как менялись наши представления об атмосферах экзопланет на примерах следующих объектов: горячие юпитеры HD 209458b, HD 189733b и WASP-12b; теплый нептун Gliese 436b (GJ 436b); и суперземля GJ 1214b. Выбранные экзопланеты активно наблюдаются с помощью наземных и космических телескопов, разработаны теоретические атмосферные модели для характерных объектов из перечисленных выше групп.



Транзит экзопланеты HD 209458b по диску родителевой звезды в видимом свете и водородных линиях L_{α} и H_{α} . Наблюдения проводились в 2003–2004 гг.

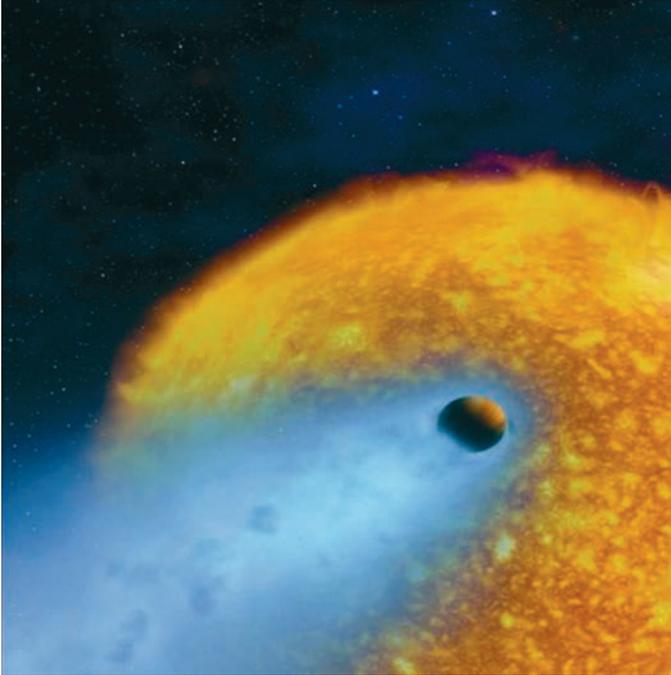
сацией транзита глубиной 8–9% в линиях углерода, кислорода и кремния. Для объяснения существования такой оболочки было выдвинуто две основных гипотезы: расширение атмосферы за счет ее нагрева излучением звезды, что порождает отток вещества со скоростью 10^7 т/с; механизм перезарядки ионов звездного ветра на атомах короны планеты. Возникающие при этом атомы обладают достаточно высокой энергией, чтобы покинуть гравитационное поле планеты, а, значит, могут образовать вокруг нее протяженную оболочку.

Получены детальные данные в УФ-диапазоне лишь только для трех

горячих юпитеров HD 209458b, HD 189733b и WASP-12b. Эти гиганты находятся на расстояниях 60–900 св. лет от Солнца, температуры на их поверхностях изменяются от 500 до 2 тыс. кельвинов. На этих трех планетах зафиксирован гидродинамический отток протяженных, испаряющихся верхних атмосфер. В результате атмосфера начинает динамически расширяться, распространяя верхние слои атмосферы планеты за пределы полости Роша или защищающей от звездного ветра магнитосферы, что приводит к последовательной потере ее массы. Тяжелые атомы (например, C, O, Mg, и Fe) обнаружены в экзосферах этих планет, доказывая, что тяжелые элементы, присутствующие в нижних слоях атмосферы, могут быть захвачены при испарении в экзосферу. Факт атмосферного испарения – главный итог последних

исследований, и модели предсказывают, что многие из планет на низких орбитах должны быть затронуты таким процессом.

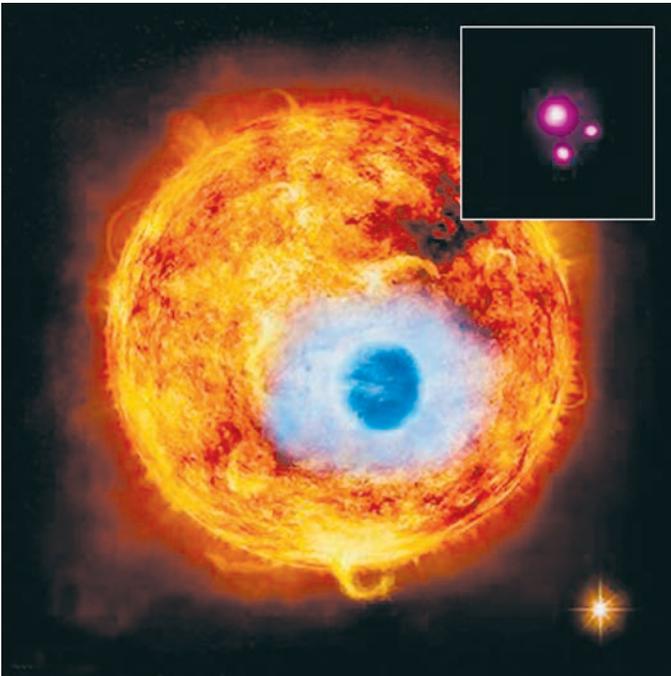
HD 209458b ($p = 0,045$ а.е., $T_{\text{eff}} = 1300$ K) постоянно находится в центре внимания планетологов (Земля и Вселенная, 2007, № 4, с. 65), так как с ней связаны открытия: затмение (транзит) родителевой звезды, испаряющейся водородной атмосферы и тяжелых атомов (C, O, Mg, Si, Fe). В спектрах ее нижней атмосферы КТХ и космическая обсерватория “Спитцер” обнаружили основные химические элементы для развития биосферы – молекулы двуокси углерода, метана и водяного пара. Конечно, горячий юпитер на низкой орбите с периодом 3,5 сут не может быть обитаемым, но если будет найдена атмосфера с тем же химическим составом вокруг скалистой планеты, то



Испарение атмосферы экзопланеты HD 209458b (со-звезде Пегаса, 153 св. лет от Солнца) в представлении художника. Планета расположена от родительской звезды на расстоянии 0,047 а.е. (около 7 млн км).

это будет указанием на возможное присутствие жизни. Измерения показали, что, например, на HD 209458b содержится только до 0,0024% воды от предсказываемого стандартной теорией формирования планет. Одним из ее следствий является то, что относительные доли некоторых элементов, в частности, кислорода, на планете должны быть значительно выше, чем у звезды. Это самые точные измерения содержания химических соединений за пределами Солнечной системы, поэтому их результаты заставят специалистов пересмотреть свои взгляды на вопросы образования и эволюции экзопланет, похожих на Юпитер.

С момента своего открытия в 2005 г., экзопланета HD 189733b ($p = 0,031$ а.е., $T_{\text{eff}} = 1300$ K) является одной

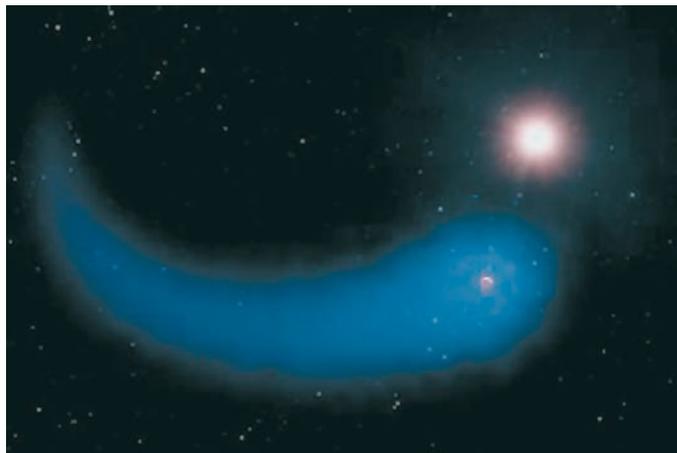


Транзит экзопланеты HD 189733b по диску родительской звезды. В правом верхнем углу – изображение транзита в рентгеновских лучах. По данным космической рентгеновской обсерватории "Swift".

Кометообразная оболочка планеты Gliese 436b (со звезде Льва, 33 св. лет от Солнца). Вверху – родительская звезда (в представлении художника).

из наиболее изученных внесолнечных планет из-за своего размера, компактной (очень низкой) орбиты, близости к Земле и атмосферы с заманчивым голубым цветом. Недавние наблюдения с помощью КТХ и космической обсерватории “Swift” показали драматические изменения в верхних слоях ее атмосферы, вызванные внезапной и мощной вспышкой на родительской звезде, которая подвергла планету интенсивному потоку рентгеновского излучения. Удалось увидеть поразительный момент изменения климата и погоды на экзопланете.

Так почему так сильно меняется состояние атмосферы? Несмотря на экстремальные температуры, атмосфера не достаточно горячая, чтобы испаряться со скоростью порядка 10^7 т/с, выявленной в 2011 г. Полагают, что такой мощный выброс атмосферного вещества вызван вспышкой рентгеновского и крайнего ультрафиолетового излучения родительской звезды – в 20 раз более мощной, чем у нашего Солнца. Учитывая также, что экзопланета

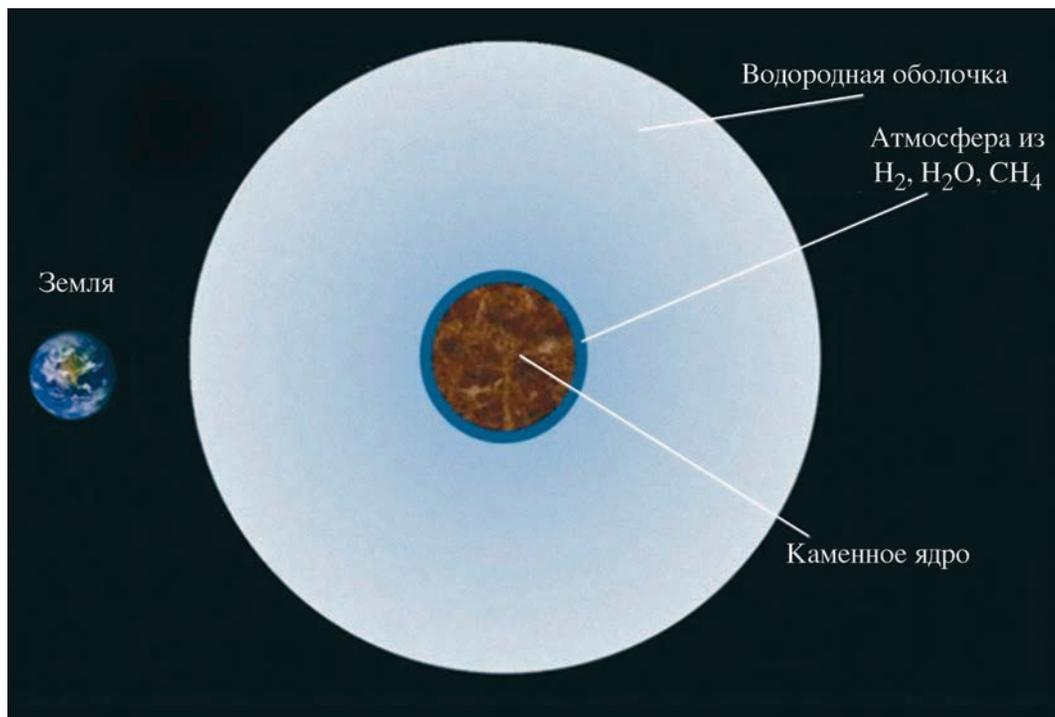


HD 189733b находится очень близко к своей звезде, то ее атмосфера была подвержена дозе рентгеновского излучения в 3 млн раз более высокой, чем во время солнечных вспышек X-класса для Земли. Хотя рентгеновское излучение составляет лишь небольшую часть от общего излучения звезды, но именно поглощение рентгеновских фотонов с высокими энергиями определяет скорость потери атмосферы планетой.

Хотя родительская звезда HD 189733 немного меньше и холоднее, чем Солнце, но из-за низкой орбиты атмосфера слишком нагрета и подвержена воздействию крайнего ультрафиолетового и рентгеновского излучения звезды. Это приводит к ее существенному расширению, что позволило астрономам заглянуть в глубокие слои атмосферы HD 189733b. Установлено,

что в ней содержатся пары воды и метан; составлена карта распределения температуры по всей планете. Дополнительные исследования показали, что тонкий слой частиц присутствует в верхней атмосфере HD 189733b, создавая отражающие облака. Из-за силикатных частиц атмосфера имеет яркосиний оттенок. Недавно с помощью спектрографа HARPS Обсерватории Ла-Силья в Чили удалось измерить скорость ветра (до 2 км/с) на дневной и ночной сторонах HD 189733b, составлена карта распределения ветров в ее атмосфере.

Данные о протяженных атмосферах у планет-гигантов на близких к родительской звезде орбитах и их интерпретации привели к полному осознанию того, что атмосферное испарение относится к ключевым факторам, определяющим их эволюцию.



АТМОСФЕРЫ ПЛАНЕТ-ОКЕАНОВ – ГОРЯЧИХ НЕПТУНОВ

Экзопланета Gliese 436b вращается вокруг красного карлика. Она расположена на расстоянии 33 св. года от нас в созвездии Льва и близка к Нептуну: масса – $22,2 M_{\oplus}$, радиус – $4,327 R_{\oplus}$. В ходе ее изучения с помощью КТХ был открыт колоссальный водородный шлейф, возникший из-за излучения родительской звезды, так как планета в основном состоит из воды, находящейся в твердом состоянии при температуре около 300°C и под большим давлением. Атмосферу планета теряет под действием рентгеновского

излучения родительской звезды, а обнаружить этот эффект удалось благодаря изменению яркости светила во время прохождения Gliese 436b по его диску. Современная скорость потери атмосферы достигает тысячи тонн в секунду, однако в прошлом, вероятно, она была выше. Всего, по расчетам ученых, за миллиард лет планета потеряла 0,1% своей массы. Подобный процесс обнаружен впервые. Несмотря на очень впечатляющие размеры кометообразной оболочки, скорость испарения атмосферы сейчас не угрожает планете. Однако, в прошлом звезда была более активной. Следовательно, газовая

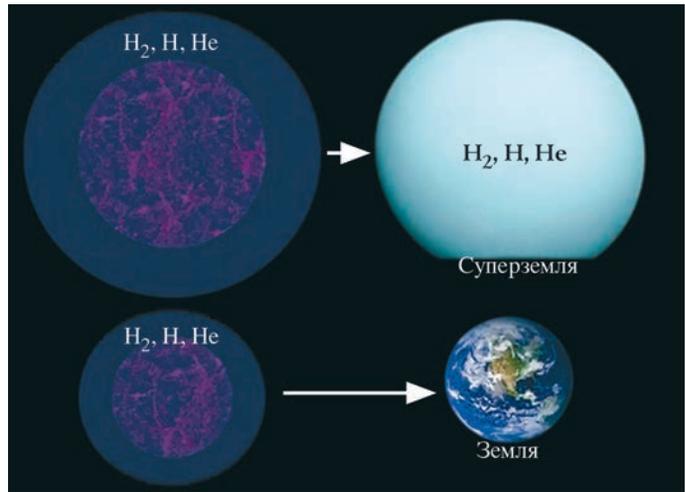
Схематическое изображение структуры атмосферы мини-нептуна.

оболочка планеты испарялась быстрее в течение первых миллиардов лет. Как отмечают специалисты, многие каменные экзопланеты начинали свою эволюцию как горячие нептуны, до сих пор астрономам удалось находить только такие, с которых их светила уже «сорвали» всю атмосферу.

АТМОСФЕРЫ СУПЕРЗЕМЕЛЬ

Внимание специалистов сейчас сосредоточено на планетарных системах красных карликов – относительно

Образование атмосфер из H_2 , H и He у суперземель и каменных планет земного типа за счет миграции газовых мини-нептунов на низкие орбиты. Слева на рисунке показаны газовые мини-нептуны разной массы, а справа – потенциально возможные суперземли или скалистые планеты, образованные при испарении атмосфер мини-нептунов при их миграции к родительской звезде.

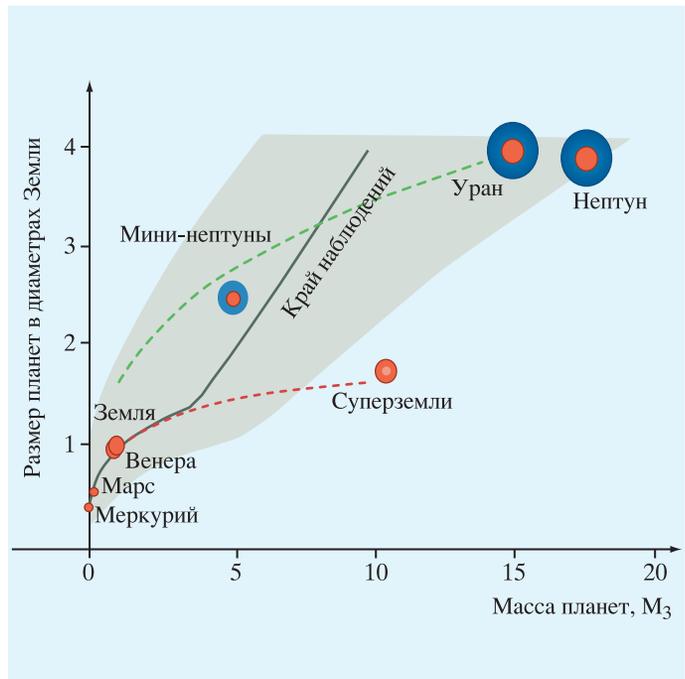


тусклых и холодных светил массой около половины Солнца, чей срок жизни – почти десять миллиардов лет. Считается, что каждая такая звезда должна обладать спутником-планетой, что делает их главным кандидатом для поисков “двойника Земли”, способного поддерживать жизнь. Их надо искать в окрестностях красных карликов, так как они изначально рождаются как газовые гиганты, чьи разрушающиеся оболочки

защищают будущую планету от потери атмосферы и воды под воздействиями излучения и плазмы звездного ветра молодого светила. Но есть сомнения в их существовании, этому мешают несколько факто-

ров – приливные силы, заставляющие планеты повернуться на светиле одной стороной и разогревающие их недра, чрезмерно сильное магнитное поле красных карликов, подавляющее “магнитный щит” планет.

График зависимости массы от размера экзопланет. Серая зона – возможное распределение открытых суперземель, зеленая и красная пунктирные линии – типы суперземель (мини-нептуны или каменные планеты земного типа). По данным космической обсерватории NASA “Кеплер”. Дж. Вейсс и Дж. Марси, 2014 г.



Кроме того, красный карлик излучает мощное рентгеновское излучение и ультрафиолет в первый миллиард лет, которые фактически уничтожают атмосферу двойника Земли. Выяснено, что эти же самые силы, препятствующие рождению нормальных подобных Земле планет, способствуют их появлению в результате метаморфоза небольших газовых гигантов – мини-нептунов, формирующихся на большом расстоянии от красного карлика. Изначально мини-нептуны представляют собой чрезвычайно холодные и негостеприимные миры. Но планеты не всегда находятся на одном и том же месте. Приливные силы могут заставить их мигрировать в сторону светила, которые выведут мини-нептун в зону потенциальной обитаемости, где он попадет под рентгеновскую и ультрафиолетовую бомбардировку, постепенно уносящую его газовую оболочку в открытый космос. В результате останется только каменистое ядро, сопоставимое по размерам с Землей или малыми планетами. На поверхности, скорее всего, появится много воды, так как ядра планет-гигантов содержат вкрапления льда. Если она окажется в зоне обитаемости данной звездной системы, то вода растает, возникнут океаны, а, возможно, и жизнь. Превращение

гиганта в двойник Земли происходит не со 100% гарантией – есть множество факторов, которые мешают подобному метаморфозу.

К примеру, если светило будет испарять мини-нептун слишком медленно, то планета сохранит толстую газовую оболочку. В обратной ситуации ядро выйдет на поверхность раньше нужного времени, и все его водные запасы будут унесены в космос.

Анализ данных космической обсерватории “Кеплер” показывает, что суперземли, скорее всего, эволюционно связаны с мини-нептунами, сохранившими в атмосфере первичный водород, захваченный из протопланетной туманности, то есть суперземли это скорее – мини-нептуны. Для одной из наиболее активно наблюдавшихся суперземель – GJ 1214b анализ данных широкой наблюдательной кампании показал, что плотные слои атмосферы скрыты облаками и дымкой. Вопрос – есть ли океаны и материки под облаками – остается открытым.

БЛИЖАЙШИЕ ЗАДАЧИ НАБЛЮДЕНИЙ

Научные задачи наблюдений атмосфер экзопланет с помощью наземных и космических телескопов нацелены на решение ряда актуальных проблем современной астрофизики:

– эволюция планеты путем испарения, которое оказывает существенное воздействие на эволюцию атмосферы. Поскольку кривые блеска УФ-излучения транзитов во множестве планет на тесных орбитах с различными характеристиками представляют нам наилучшую возможность для изучения их атмосфер;

– структура и состав атмосферы планеты (в особенности при анализе спектральных линий УФ-диапазона) позволяет оценить температуру, давление и динамику верхних слоев. Так как различные длины волн позволяют зондировать атмосферы на различных глубинах, то оптический, ИК- и УФ-диапазоны дают нам уникальную возможность последовательно усовершенствовать наши представления о природе атмосфер экзопланет;

– на ранних стадиях эволюции планетных систем, атмосферы планет в обитаемой зоне будут испытывать расширение термосферы. Испарение атмосфер – ключевой процесс в определении актуальной обитаемости планет. С помощью УФ-наблюдений можно оценить и ограничить многочисленные модели эволюции атмосферы планеты, используемые в настоящее время для исследования и определения потенциальной обитаемости.

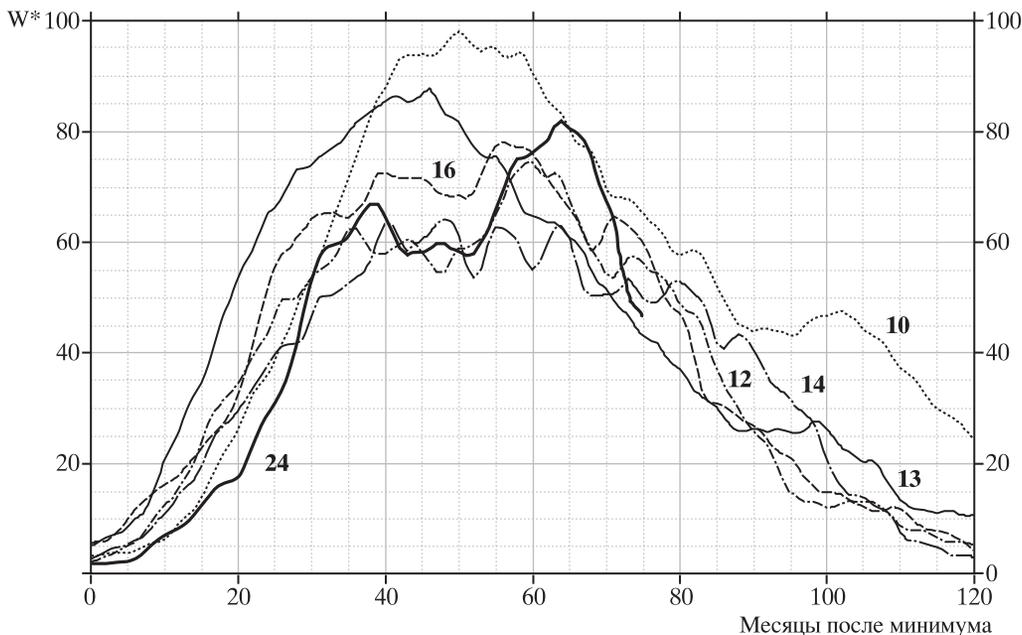
Солнце в октябре – ноябре 2015 г.

В эти месяцы солнечная пятнообразовательная активность держалась на среднем уровне, иногда опускаясь до низкого (7 сут в октябре и 1 сут в ноябре). Число групп пятен на видимом диске Солнца менялось от 1 до 6. В подавляющем большинстве они были небольшими и спокойными,

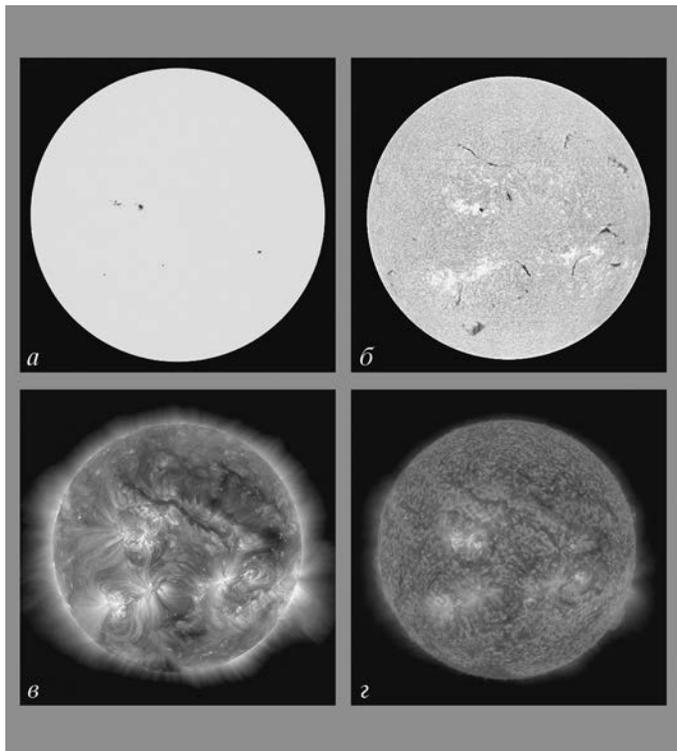
из 32 групп пятен 16 появились в Северном полушарии. Кривая роста сглаженных за год значений относительного числа пятен уверенно идет на спад. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа: $W_{\text{окт.}} = 37,0$ и $W_{\text{нояб.}} = 38,0$. Сглаженное значение этих индексов составило: в апреле 2015 г. – $W^* = 47,3$, в мае 2015 г. – $W^* = 45,6$. Эти данные приведены по классической (старой) системе, согласно Службе состояния околоземного пространства (www.swpc.noaa.gov).

В первую декаду октября пятнообразовательная активность упала до низкого уровня, с 11 октября вышла на средний и 22 октября достигла высшего значения, оставаясь на среднем уровне. 27 октября из-за восточ-

ного лимба появилась единственная большая группа пятен, 1 ноября она достигла максимального значения площади – 650 миллионных долей полусферы. Магнитная конфигурация этой активной области сохранилась достаточно простой, поэтому в ней в основном происходили только слабые вспышки. Однако 3 октября в ней произошла вспышка большого оптического балла 2В рентгеновского класса М3.7, сопровождавшаяся значительными динамическими явлениями, что сделало ее геоэффективной. Другая вспышка среднего балла возникла в этой группе пятен 31 октября. После 22 октября несколько снизилось образование новых пятен. Минимальное ежеднев-



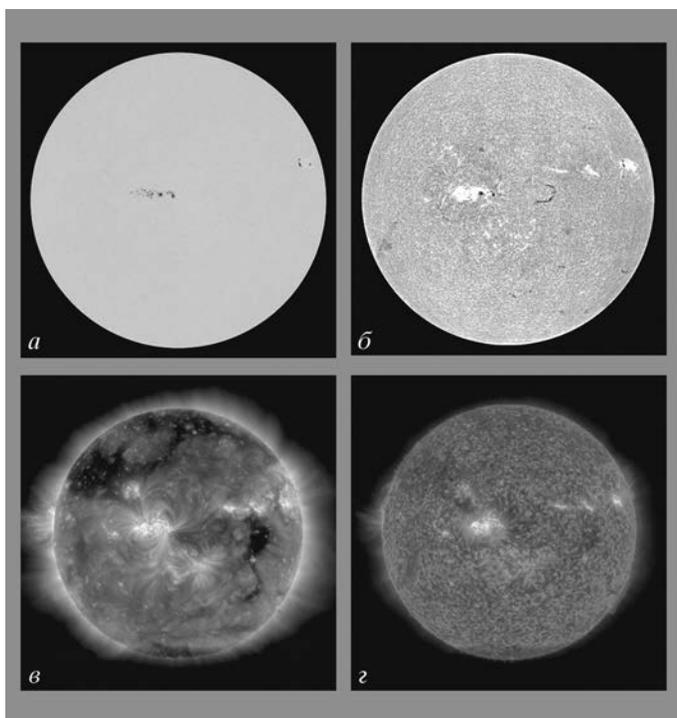
Ход развития (75 месяцев) текущего, 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (с 1849 г.) солнечных циклов. W^* – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен в старой классической системе.



Солнце 22 октября:

а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета $Fe \text{ XII}$ ($\lambda = 193 \text{ \AA}$); г) в линии крайнего ультрафиолета $He \text{ II}$ ($\lambda = 304 \text{ \AA}$). Космическая солнечная обсерватория "SDO" (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).

ное значение относительных чисел солнечных пятен отмечено 10 октября ($W = 12$), максимальное – **22 октября** ($W = 104$). 2 октября в большой сентябрьской группе пятен Южного полушария случилась вспышка класса M5.5/1N. Средний уровень вспышечной активности наблюдался 1, 4 октября (большая группа Южного полушария), 15–17 октября (маленькие группы Южного полушария) и 31 октября (крупная группа Северного полушария). В остальные дни вспышечная активность была на низком и очень низком уровне. Выбросы солнечных волокон (17 событий) появлялись 2 (5), 6, 8, 11, 14 (2), 17, 20, 21 и 28 (3) октября. Коронографы космической обсерватории "SOHO" зарегистрировали 113 корональных выбросов



Солнце 3 ноября: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета $Fe \text{ XII}$ ($\lambda = 193 \text{ \AA}$); г) в линии крайнего ультрафиолета $He \text{ II}$ ($\lambda = 304 \text{ \AA}$). Космическая солнечная обсерватория "SDO" (<http://spaceweather.com>)

вещества разной интенсивности, среди которых один типа “частичное гало III” (угол раствора 180° – 270°) и четыре типа “частичное гало II” (угол раствора 90° – 180°). По видимому диску Солнца проходили 6 рекуррентных корональных дыр, высокоскоростные потоки от четырех из них внесли весомый вклад в магнитные бури. На средних широтах Земли отмечены 4 малые магнитные бури (4, 5, 12 и 13–14 октября) и протяженная по времени умеренная (6–10 октября). Всего же в геомагнитном поле зарегистрировано 10 возмущенных дней. Малые солнечные протонные события в околоземном космическом пространстве произошли 1, 22 и 29 октября. На геостационарных орбитах очень высокий поток (более 10^7 частиц на квадратный метр) релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ зарегистрирован 5, 17 и 20 октября.

В начале **ноября** уровень пятнообразовательной активности Солнца держался

на среднем уровне, постепенно понижаясь, 12 ноября стал низким. С 13 ноября он устойчиво находился на среднем уровне. На видимом диске Солнца образовалось от 5 до 2 групп солнечных пятен, одна из них большая, 13 групп локализовались в Северном полушарии и 3 – в Южном. Максимальное наблюдаемое число солнечных пятен было **4 ноября** ($W = 63$), минимальное – 18 ноября ($W = 17$). Средний уровень вспышечной активности отмечен 1, 3, 4 и 9 ноября, он связан со вспышками в небольших группах пятен Северного полушария. Корональный выброс вещества одной из вспышек 3 ноября вызвал в околоземном космическом пространстве умеренную магнитную бурю 6–7 ноября. Выбросы солнечных волокон (6 событий) наблюдались 11, 15, 16, 18 (2) и 22 ноября. Коронографы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали 66 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых одно “частичное

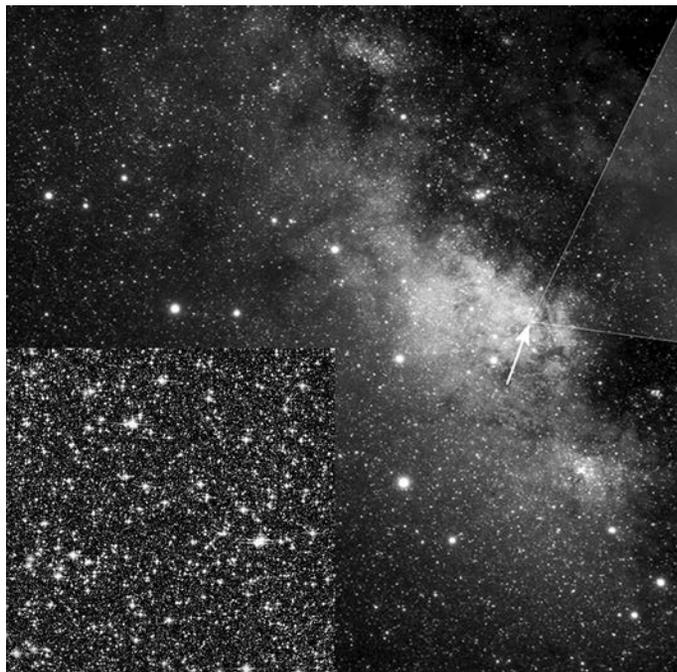
гало III” (угол раствора 180° – 270°) и 5 типа “частичное гало II” (угол раствора 90° – 180°). В ноябре образовались две рекуррентные и три новые корональные дыры, которые произвели геомагнитную возмущенность околоземного космического пространства. Состоялись 4 малых магнитных бури (3–4, 8, 11 и 13 ноября) и одна умеренная (7 ноября). Всего за месяц отмечено 10 сут с возмущенной геомагнитной обстановкой. В околоземном космическом пространстве возникло одно малое протонное событие. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ был 4–16 ноября.

Текущее состояние солнечной активности и ее прогноз на русском языке можно найти в Интернете (<http://www.izmiran.ru/services/saf/>). Страница обновляется каждый понедельник.

*В.Н. Ишков
ИЗМИРАН*

Маломассивные звезды в Галактике

В результате анализа изображений KTX области центральной выпуклости (балджа) Млечного Пути за последние 10 лет астрофизикам удалось выделить древнейшие звезды – 70 самых горячих белых карликов. Работа проведена в рамках обзора SWEEPS (Sagittarius Window Eclipsing Extrasolar Planet Search – поиск внесолнечных планет в Стрельце) в пространстве 26 тыс. св. лет от нас, в рамках которого KTX изучал 180 тыс. звезд и искал у них экзопланеты транзитным методом. Идентифицировать маломассивные звезды – белые карлики, которые существовали 12 млрд лет назад и взорвались, можно было, определяя цвета звезд балджа и сравнивая их с теоретическими моделями. В нашей Галактике первоначально сформировался балдж, а все звезды родились уже позже, но очень быстро – примерно через 2 млрд лет. Остальная часть диска, которая состоит из звезд второго, третьего и последующих поколений, прирастала значительно медленнее и впоследствии окру-



Центральная часть (балдж) Млечного Пути в направлении созвездия Стрелец (расстояние – 26 тыс. св. лет). Здесь заключены тысячи самых старых звезд – белые карлики. Во врезке: часть балджа, где плотно расположились звезды разных типов. Изображение синтезировано из нескольких снимков, полученных в 2006–2015 гг. KTX. Фото NASA/ESA/STScI/SWEEPS.

жила балдж Галактики. Белые карлики образуются в результате выгорания звезд массой ниже предела Чандрасекара, равного $1,44 M_{\odot}$. У них в центре тяжелое маленькое ядро размера, сопоставимого с Землей, и чрезвычайно плотное – почти в 200 тыс. раз больше земной. Одна чайная ложка вещества такой звезды на Земле весила бы примерно 15 т. Чрезвычайно горячий белый карлик

на снимках выглядит темно-синим, по сравнению со звездами, подобными Солнцу. Из-за крошечных размеров они излучают очень мало света, по мере старения становятся более прохладными и тусклыми, поэтому их трудно обнаружить. Предполагается, что в балдже Галактики есть примерно 100 тыс. белых карликов.

Пресс-релиз NASA,
8 ноября 2015 г.

Академик Владимир Евгеньевич Фортов

(К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



Академик В.Е. Фортов.

В.Е. Фортов – известный и активно работающий ученый в области мощных ударных и детонационных волн, физики плазмы, энергетики и физической механики. Им разработаны генераторы мощных ударных волн и экспериментальные методы изучения физических свойств вещества в экстремальных условиях взрыва с помощью лазерных, релятивистских электронных и ионных пучков.

Созданы широкодиапазонные полуэмпирические уравнения состояния ряда химических элементов и конструкционных материалов, которые применяются при разработке устройств новой техники.

Владимир Евгеньевич Фортов родился 23 января 1946 г. в г. Ногинске Московской области в семье военнослужащего и учительницы. В 1962 г. он поступил в Московский физико-технический институт на факультет аэрофизики и космических исследований. Учась на втором курсе, В.Е. Фортов начал заниматься научной работой под руководством члена-корреспондента АН СССР В.М. Иевлева в НИИ-1 (ныне Государственный научный центр им. М.В. Келдыша), одной из задач которого было создание мощного ядерного ракетного двигателя с плазменным реактором. Проблема описания плотной плазмы реактора с сильным коллективным взаимодействием частиц имела фундаментальный характер. Во-влеченность в практически неизученную область исследований и непосредственное участие в экспериментах по ударному сжатию насыщенных паров металлов во многом сформировали область научных интересов и стиль работы будущего ученого.

В 1968 г. он досрочно защитил дипломную работу, поступил в аспирантуру и после защиты в 1971 г. кандидатской

диссертации по исследованию свойств неидеальной плазмы был распределен в Дальневосточное отделение АН СССР. Однако незадолго до предполагаемого отъезда, на Симпозиуме по горению и взрыву произошла встреча В.Е. Фортова с академиком Я.Б. Зельдовичем, оказавшаяся знаковой для научной судьбы молодого ученого. Я.Б. Зельдович, прослушав доклад, высказал ряд идей в продолжение исследований Владимира Евгеньевича и рекомендовал его Нобелевскому лауреату академику Н.Н. Семёнову, который пригласил В.Е. Фортова в Отделение Института химической физики АН СССР (ныне Институт проблем химической физики РАН) в г. Черноголовке.

В последующие пять лет В.Е. Фортов выполнил цикл уникальных экспериментальных и расчетно-теоретических исследований свойств плотной плазмы, по их результатам в ведущих отечественных и зарубежных научных журналах опубликовано около тридцати статей. Итогом работы стала докторская диссертация “Исследование неидеальной плазмы динамическими методами”, которую он успешно защитил в возрасте 30 лет. В докторской диссертации Владимир Евгеньевич разработал методы генерации и комплексно исследовал физические свойства плотной вырожденной и бoльцмановской плазмы в условиях сильного межчастичного взаимодействия. Одним из ключевых моментов диссертации стало создание общей теории построения полупирических широкодиапазонных уравнений состояния вещества, позволяющих сквозным образом описывать термодинамику вещества в различных агрегатных состояниях с учетом фазовых превращений (задача, поставленная Э. Ферми и Я.Б. Зельдовичем). Академик Я.Б. Зельдович представил диссертацию на пленарной сессии АН СССР. Оппонентами были профессор Л.В. Альтшулер – один из создателей советского атомного оружия, и академик Е.П. Велихов – всемирно из-



В.Е. Фортов с академиком Я.Б. Зельдовичем на третьем Всероссийском симпозиуме по горению и взрыву. Ленинград, июль 1971 г.

вестный специалист в области плазменных исследований. Комплекс проведенных В.Е. Фортовым исследований сформировал новое научное направление – динамическую физику неидеальной плазмы.

В 1976 г. Владимир Евгеньевич возглавил Лабораторию физической газовой динамики в Отделении Института химической физики АН СССР, одной из задач которой стало изучение термомеханических, кинетических и прочностных характеристик конструкционных материалов в условиях импульсного ударно-волнового нагружения. Опыт, накопленный в процессе экспериментального изучения высокоскоростного удара, оказался необходимым, когда в начале 1980-х гг. началась реализация международной космической программы “Вега” по изучению Венеры и кометы Галлея (Земля и Вселенная, 1985, № 1; 1986, №№ 3, 5; 1987, № 2). Чрезвычайно высокие требования к противометеоритной защите АМС “Вега”



Академики В.Е. Фортов и С.П. Капица в Президиуме РАН. Москва, 2012 г.

связаны с тем, что скорость соударений с частицами составляла около 80 км/с. В.Е. Фортов с сотрудниками провели серию вычислительных экспериментов и разработали физическую модель разрушения защитных экранов пролетных аппаратов АМС "Вега". Созданная защита аппаратов успешно решила свою задачу. В числе участников проекта "Вега" в 1986 г. В.Е. Фортова наградили орденом Трудового Красного Знамени. В эти же годы в рамках оборонной тематики Владимир Евгеньевич активно участвовал в работах по исследованию защитных свойств различных материалов и конструкций, в которых применялись разработанные им широкодиапазонные полуэмпирические уравнения состояния вещества. В 1988 г. работа была отмечена Государственной премией СССР.

В 1986 г. В.Е. Фортова пригласили в Институт высоких температур

АН СССР, где он возглавил отдел теплофизических свойств веществ и высокоэнергетических воздействий. В 1991 г. им организован Научно-исследовательский центр теплофизики импульсных воздействий, ставший в 1999 г. самостоятельным Институтом теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур РАН (ИТЭС ОИВТ). Тогда же по инициативе Владимира Евгеньевича развернулись исследования в этой области, были созданы крупные стенды высоких импульсных давлений и температур: камеры, выдерживающие массу взрывного вещества до 1 т; конденсаторные батареи с максимальной токовой нагрузкой до 10 МА; взрывомагнитные генераторы мегавольтного диапазона напряжений и мощностью около 10 ГВт. В Институте проблем химической физики АН СССР на стендах и ударно-волновых генераторах им-

пульсных давлений реализован широкий комплекс фундаментальных и прикладных исследований свойств веществ в экстремальных состояниях. Достижения В.Е. Фортова в области теплофизики и термомеханики экстремально высоких давлений и температур отмечены избранием его в члены-корреспонденты АН СССР в 1987 г., а затем, в 1991 г., действительным членом РАН.

После аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Президиум АН СССР сформировал рабочую группу для анализа динамики зоны расплава и ее последствий. В нее включили Владимира Евгеньевича. Работа в зоне аварии, он участвовал в анализе взрывных явлений и динамики зоны расплава. Чтобы изучить “водородный взрыв”, рассматриваемый в качестве одной из причин аварий на АЭС, по инициативе В.Е. Фортова в Институт высоких температур доставили уникальную сферическую взрывную камеру внутренним диаметром 12 м, массой 470 т и стенкой из броневой стали толщиной 10 см. Она способна выдержать взрыв до 1 т в тротиловом эквиваленте. В настоящее время на базе этой камеры действует Центр коллективного пользования Московского регионального взрывного центра РАН.

В начале 1990-х гг. с участием В.Е. Фортова начато новое направление исследований на комплексе “Ангара-5-1”, связанное с возбуждением ударных и тепловых волн в твердом теле под действием интенсивного потока мягкого рентгеновского излучения. Частью теоретического обеспечения расчетно-экспериментальных исследований на комплексе “Ангара-5-1” стали созданные под научным руководством Владимира Евгеньевича таблицы оптических характеристик плотной излучающей плазмы. Кроме того, он предложил ряд идей по применению электронных пучков и мягкого рентгеновского излучения для решения специальных задач. В 1997 г. эта работа получила Государственную премию.

В эти же годы В.Е. Фортов развернул работы по созданию новых материалов для защиты ракетно-космической техники от импульсного рентгеновского излучения, возникающего при ядерном взрыве. Для того, чтобы решить поставленные задачи, им была сформирована группа из сотрудников ведущих научных институтов и центров, что позволило успешно использовать полученные результаты при конструировании ракеты “Тополь-М” стратегического назначения. Коллектив авторов с участием В.Е. Фортова отмечен премией Правительства РФ за разработку и создание новой техники за 1997 г.

Еще в середине 1980-х гг. Владимир Евгеньевич занялся проблемой преобразования энергии взрыва в энергию электромагнитного излучения, которые развернулись в Институте проблем химической физики АН СССР. В 1987 г. были получены первые мультимегаваттные импульсы СВЧ-излучения от виркатора с помощью энергии взрыва. Прибор стал эффективно работать в 1989 г. В 1999 г. эту работу отметили премией Правительства РФ.

Применение крупных электрофизических установок позволило В.Е. Фортову развить исследования по воздействию электромагнитных волн на электронные управляющие системы и технические исполнительные элементы. В сотрудничестве с петербургской школой полупроводниковой электроники лауреата Нобелевской премии академика Ж.И. Алфёрова, томской и уральской школами академика Г.А. Месяца в конце 1990-х гг. созданы гигаваттные излучатели гармонических колебаний сантиметрового диапазона на базе виркаторов и широкополосные излучатели наносекундных импульсов электромагнитного поля; получены новые данные об устойчивости электронной техники к внешним излучениям. Эти исследования отмечены премией Правительства РФ за 2002 г. Параллельно с этой работой развивалось и другое актуальное для современной



Выступление В.Е. Фортова на 40-й Научной ассамблее Комитета по космическим исследованиям при Международном совете по науке в МГУ. Москва, август 2014 г.

энергетики направление. По инициативе и под руководством Владимира Евгеньевича взрывомагнитные генераторы стали применяться в моделировании ударов молнии с током до 10^4 А.

Начиная с программы "Vega", значительное место в работах В.Е. Фортова занимает космическая тематика. К концу 1980-х гг. в геофизике была накоплена большая статистика о популяции астероидов и комет в Солнечной системе и частоте их столкновений с Землей, рассчитана вероятность падения крупного космического тела на Землю. Она оказалась столь высокой, что стала проблемой астероидной опасности. Под руководством Владимира Евгеньевича выполнена серия расчетов, моделирующих падение крупных космических тел на Землю, а также цикл экспериментов по ударному воздействию на астероид с целью

его разрушения или изменения траектории полета. В июле 1994 г. ученые впервые могли наблюдать столкновение распавшейся на крупные фрагменты (до 4 км) кометы Шумейкеров – Леви 9 (D/1993 F2) с Юпитером (Земля и Вселенная, 1996, № 1).

В РАН была разработана программа работ по прогнозу ударных явлений и подготовке к их наблюдениям на имеющихся в стране астрономической и радиофизической базах. Выполнение этой работы поручили В.Е. Фортову. В результате были сформулированы задачи по определению сценария гибели осколков кометы в атмосфере и отклика атмосферы и магнитосферы Юпитера на сверхмощные взрывы осколков. Последующие наблюдения во многих обсерваториях мира подтвердили эти результаты, а также предсказанные аномалии в радиоизлучении

радиационных поясов, свечении ионосферы и верхней атмосферы в оптическом, инфракрасном и радиодиапазонах.

4 июля 2005 г. реализован международный космический эксперимент с помощью американской АМС “Дип Импакт” (“Deep Impact”), осуществлено высокоскоростное столкновение металлического ударника массой 370 кг с ядром кометы 9P/Tempel 1, вызвав выброс вещества массой около 10 тыс. т (Земля и Вселенная, 2005, № 3, с. 40–41; 2005, № 6, с. 101–102). Под руководством В.Е. Фортова выполнены обширные эксперименты по генерации мощных ударных волн и изучению физических свойств веществ при ультравысоких давлениях и температурах, моделирующих условия эксперимента “Дип Импакт”. На основе этих данных осуществлено численное моделирование космического эксперимента, что позволило оценить возможные размеры кратера, образующегося в момент удара (в зависимости от начальной плотности ядра кометы), определить параметры вспышки и ее спектральный состав в различных оптических диапазонах. В 1994 г. решением Международного астрономического союза одной из малых планет Солнечной системы присвоено имя Фортов (Fortov).

В конце 1990-х гг. Владимир Евгеньевич принимает решение о разворачивании нового направления в Объединенном институте высоких температур РАН – генерация экстремального состояния вещества и его изучение с помощью мощных фемто- и пикосекундных лазерных импульсов. Перед сотрудниками Института он поставил задачу: в кратчайшие сроки подготовить экспериментальную базу для исследований на основе фемтосекундной тераваттной лазерной системы. В 2002 г. создана такая уникальная, не имеющая аналогов в мире, система инфракрасного диапазона на основе активного элемента хром – форстерит, изготовленная на базе российских комплектующих изделий. В настоящее

время Центр коллективного пользования “Лазерный фемтосекундный комплекс” оснащен современным диагностическим оборудованием и активно используется для изучения термодинамических и кинетических свойств материи в экстремальных условиях.

Подходы, разработанные В.Е. Фортовым в области физики неидеальной плазмы, находят применение в таких фундаментальных задачах, как физические процессы в глубинных областях Солнца. Проводимый анализ в последних работах Владимира Евгеньевича по этой тематике направлен на выяснение глубинных причин поведения термодинамических параметров, определяющих солнечную эволюцию. Сейчас его научные интересы направлены также на исследование ультрахолодной сильнонеидеальной ридберговской плазмы – нового физического объекта, экспериментально полученного лишь в 1999 г. Температура ионов в момент образования этой плазмы составляет милликельвин, а электронов – варьируется от 1 К до 100 К.

В последнее десятилетие резко возрос интерес к пылевой плазме. В ней удастся получить рекордно высокие (до 10^5 – 10^6 зарядов электрона) величины зарядов пылевых частиц. Тем самым обеспечивается чрезвычайно высокая интенсивность взаимодействия между частицами, при которой происходит кулоновское “замерзание” плазмы. ИТЭС ОИВТ оказался среди пионеров и одним из мировых лидеров в разработке нового направления в физике плазмы.

Под руководством Владимира Евгеньевича большим коллективом ученых выполнен цикл пионерских работ по изучению плазменных кристаллов и жидкостей в пылевой плазме в лабораторных условиях с применением оригинальных методов их получения и диагностики. Исследования продолжены на российском орбитальном комплексе “Мир”, где в 1998 г. по его инициативе поставлены первые эксперименты в условиях микрогравитации с исполь-



В.Е. Фортов, заместитель председателя правительства Российской Федерации Д.О. Rogozin и председатель совета директоров ОАО "РТИ" Е.М. Примаков в президиуме на совместном совещании генеральных конструкторов и директоров российских оборонных предприятий. Президиум РАН. Москва, июль 2013 г.

зованием установок "Плазменный кристалл-1" и "Плазменный кристалл-2". Результаты экспериментов дали так много новой неожиданной и важной информации, что решено их продолжить совместно с германскими коллегами на борту российского сегмента Международной космической станции. Научными руководителями эксперимента "Плазменный кристалл-3" стали академик В.Е. Фортов и директор Института внеземной физики Научного общества им. Макса Планка профессор Г. Морфилл. Постановка и подготовка эксперимента осуществлялась ИТЭС ОИВТ с участием Института внеземной физики (Германия), РКК "Энергия" им. С.П. Ко-

ролёва и ЦПК им. Ю.А. Гагарина, поддерживалась Германским аэрокосмическим центром (DLR) и Министерством промышленности, науки и технологий РФ. В 2004 г. во Франции успешно выполнен в условиях невесомости эксперимент "Плазменный кристалл-4" на борту самолета А-300 ZERO-G.

Следует отметить, что сотрудничество с немецкими учеными занимает важное место в научных интересах В.Е. Фортова. Совместно с Обществом исследования тяжелых ионов (г. Дармштадт) был разработан метод диагностики взаимодействия пучков тяжелых ионов с конденсированными средами. По инициативе Владимира Евгеньевича

организованы исследования термомеханических и прочностных свойств материалов при импульсном наносекундном и субнаносекундном нагружении с использованием лазерных и пучковых генераторов ударных волн на установке KALIF Института импульсной и микроволновой техники Исследовательского центра в Карлсруэ. В 2002 г. В.Е. Фортову присудили Международную премию им. Макса Планка за выдающиеся исследования в области физики и химии плазмы. В 2006 г. в знак признания научных достижений в области физики плотной плазмы и за большой вклад в развитие российско-германского научно-технического сотрудничества ученого наградили орденом "Крест за заслуги перед ФРГ".

Под руководством и при непосредственном участии Владимира Евгеньевича выполнен большой комплекс работ по специальной тематике, что нашло свое отражение в присуждении ему в 2012 г. Государственной премии им. маршала Г.К. Жукова.

Работы В.Е. Фортова широко известны международному научному сообществу, многие из них считаются пионерскими и определяют современное состояние соответствующих областей фундаментальной науки. Владимиром Евгеньевичем с соавторами опубликовано около 30 монографий и более 900 оригинальных статей в ведущих зарубежных и отечественных журналах. Выдающийся вклад академика В.Е. Фортова в развитие фундаментальной и прикладной науки высоко оценен как на государственном, так и на мировом уровне. Кроме перечисленных наград, его удостоили орденами "За заслуги перед Отечеством" IV и III степеней, Почета, Дружбы, многими медалями СССР и России. В.Е. Фортов – кавалер ордена Почетного Легиона, лауреат престижных международных премий им. А.П. Карпинского, П. Бриджмена, Х. Альфвена, Дж. Дюваля, "Глобальная энергия"; академик награжден золотой медалью ЮНЕСКО им. А. Эйнштейна и медалью ЮНЕСКО



В.Е. Фортов с наградой на церемонии вручения Международной энергетической премии "Глобальная энергия" в рамках ежегодного экономического форума. Санкт-Петербург, июнь 2013 г.

"За вклад в развитие нанонауки и нанотехнологий", избран членом научно-консультативного совета при Генеральном Секретаре ООН, многих иностранных и международных академий и университетов; выполняет обязанности заместителя председателя комиссии РФ по делам ЮНЕСКО.

Напряженную и разностороннюю научную деятельность Владимир Евгеньевич сочетает с большой государственной и научно-организационной работой, которую выполняет с присущей ему целеустремленностью, ярко выраженной активной позицией и бескомпромиссностью. В 1993 г. его назначили председателем российского Фонда фундаментальных исследований, он организовал работу первой в стране независимой вневедомственной научной организации. За время работы В.Е. Фортова в этой должности сред-



Академики Ю.Г. Леонов и В.Е. Фортвов на борту научно-исследовательского судна "Академик Федоров" во время российской полярной экспедиции. Июль 2007 г.

ства фонда увеличились в три раза, введена система грантов и независимой научной экспертизы, сеть научных телекоммуникаций с выходом на зарубежные научные центры. В 1996–1998 гг. он занимает должности заместителя председателя Правительства России, председателя Государственного комитета РФ по науке и технологиям, министра науки и технологий России. В.Е. Фортвов инициирует принятие закона о науке и научно-технической политике РФ, концепции развития науки и технологий РФ и ряд других государственных документов, направленных на защиту и сохранение научно-техни-

ческого комплекса страны. Сегодня ключевые положения этих документов подвергаются ревизии. За время работы В.Е. Фортвова в Правительстве финансирование науки увеличилось в 1,8 раза, РАН – в 2,2 раза, причем "доля РАН" в научном бюджете страны повысилась с 17% до 23%. Совместно с академиками А.В. Гапоновым-Греховым, В.Е. Захаровым и В.П. Скулачёвым им была предложена и реализована программа поддержки научных школ и выдающихся отечественных ученых. В результате материальную поддержку получили многие тысячи специалистов страны. По инициативе Владимира Ев-

геньевича и под его руководством развернуты работы и созданы наиболее мощные в стране суперкомпьютеры массиво-параллельной архитектуры, сети кластерных высокопроизводительных вычислительных систем в регионах.

В 2001–2013 гг. академик В.Е. Фортов работал академиком-секретарем Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН. В настоящее время он – заместитель председателя Совета при Президенте РФ по науке и образованию, член Президиума Совета при Президенте РФ по модернизации экономики и инновационному развитию России. В 2013 г. его избрали на пост Президента РАН. Несмотря на непомерный груз задач и проблем, которые ему приходится непрерывно решать, отстаивая на этом посту интересы российской науки и Академии наук как ведущей ее части, Владимир Евгеньевич остается, прежде всего, увлеченным ученым. В настоящее время В.Е. Фортов является главным редактором журналов “Вестник Российской академии наук” и “Доклады Академии наук”, “Теплофизика высоких температур”, “В мире науки” и членом редколлегий ряда международных и отечественных научных изданий. Он руководит кафедрой Физики высокотемпературных процессов Московского физико-технического института. Под его научным руководством защищено более 30 кандидатских и бо-

лее 10 докторских диссертаций, пять его учеников избраны членами РАН.

В 2007 г. В.Е. Фортов участвовал в Высокоширотной арктической глубоководной экспедиции на Северный полюс, в 2008 г. в рамках программы Международного полярного года участвовал в Международной антарктической экспедиции на Южный полюс и Полюс относительной недоступности. В 2010 г. опускался на дно озер Байкал и Леман (Швейцария). В 2012 г. участвовал в экспедиции на станцию Восток (Антарктида).

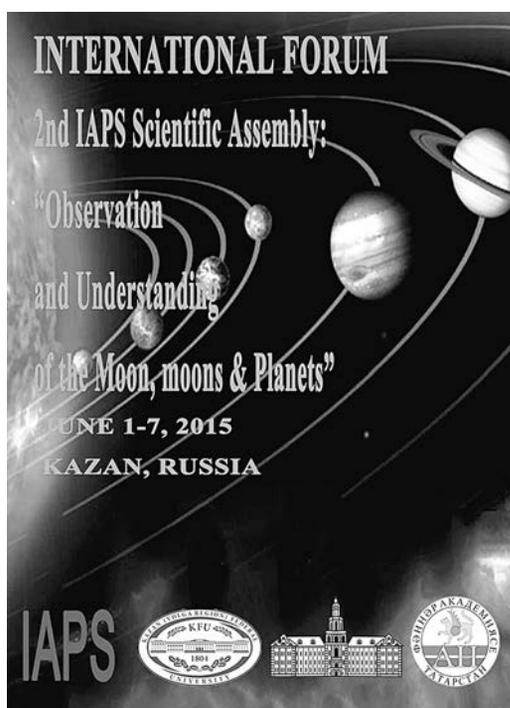
Присущие академику В.Е. Фортову фантастическая работоспособность, творческая активность, умение организовать и вести за собой научные коллективы, наверное, были бы невозможны, если бы он не занимался спортом. Владимир Евгеньевич – мастер спорта по баскетболу и парусному спорту, призер чемпионата СССР по парусному спорту: он обошел на яхте мыс Горн и мыс Доброй надежды, пересек Атлантический океан; увлекается горными лыжами, теннисом, пилотированием и экстремальными путешествиями.

Коллектив Объединенного института высоких температур РАН поздравляет Владимира Евгеньевича Фортова с юбилеем, желает ему продолжения плодотворной научной деятельности и успешного выполнения намеченных планов. К этим поздравлениям присоединяются Редколлегия, редакция и авторский коллектив журнала “Земля и Вселенная”.

“Наблюдение и исследование Луны, планет и их спутников”

С 1 по 7 июня 2015 г. под таким названием в Казанском (Приволжском) федеральном университете и Академии наук Республики Татарстан прошла международная астрономическая конференция. Она была посвящена объявленному ООН Году Света, 50-летию юбилею первого в мире выхода в открытый космос советского космонавта А.А. Леонова, 49-летию с момента посадки на Луну советской автоматической станции “Луна-9” и началу осуществления значимых космических проектов с участием российских специалистов. Бюро научного совета по астрономии РАН приняло решение провести международную конференцию в Казани, так как Республика Татарстан славится своей развитой научной базой и всемирно известной астрономической школой. Академик Э.М. Галимов обратился к Президенту Республики Татарстан Р.Н. Минниханову с просьбой поддержать данный научный форум, Президент РТ дал поручение содействовать проведению в Казани этой конференции. Председатель Оргкомитета конференции – академик М.Я. Маров.

В работе Конференции приняли участие российские и зарубежные ученые Великобритании, Германии, Китая, Нидерландов, США, Франции, Японии из многих астрономических организаций и институтов космических исследований. С наиболее ярким докладом выступил



Эмблема Конференции.

академик М.Я. Маров. Руководитель отдела планетарной геодезии Института планетных исследований Немецкого аэрокосмического центра, профессор Юрген Оберст, победитель конкурса Министерства образования и науки РФ 2010 г. коснулся истории исследований планет и их спутников в первые



Делегаты Конференции в актовом зале Казанского (Приволжского) федерального университета. Фото Е. Минеева.

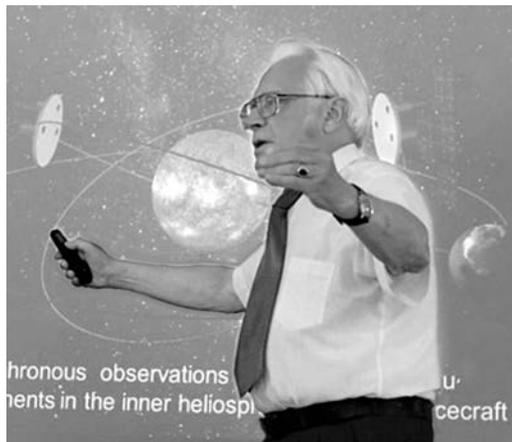
годы космической эры, перечислил состав научных приборов на космических аппаратах и результаты их полетов. С докладами выступили директор отдела спутниковых исследований Шанхайской обсерватории профессор Шуанген Джин, руководители научных проектов по исследованию Луны Японской астрономической обсерватории профессора Шо Сасаки и Хидео Ханада.

Торжественное заседание, посвященное открытию форума, состоялось в актовом зале Казанского федерального университета. Конференцию приветствовали и поздравили участников с началом ее работы представители Правительства Республики Татарстан, различных астрономических и космических организаций. Далее выступили с докладами делегаты Конференции.

Доктор **Р. Шульц** (Нидерланды) познакомила аудиторию с проектами изучения астероидов с помощью авто-



Руководитель планетных исследований Европейского космического агентства Р. Шульц (Нидерланды). Фото Е. Минеева.



Академик М.Я. Маров сообщает о российских планах исследования Луны и планет. Фото Е. Минеева.

матических межпланетных станций, сообщив что большая часть знаний о кометных ядрах и астероидах стала доступной за последние четверть века; они основаны на данных, полученных в ходе полетов АМС. Общий вид этих малых тел, а также некоторые из параметров их поверхности (альbedo, морфология, тепловые и оптические характеристики, элементный состав) могут быть непосредственно определены путем дистанционного зондирования во время пролетов АМС. В докладе дан обзор космических программ изучения комет и астероидов, выполненных к настоящему времени; проанализирована полученная информация с точки зрения понимания формирования Солнечной системы. Р. Шульц большое внимание уделила европейской программе “Розетта” по исследованию кометы Чурюмова – Герасименко (Земля и Вселенная, 2004, № 4, с. 47–50; 2013, № 1; 2015, № 2, с. 108–110; 2015, № 3, с. 110–111; 2015, № 4; 2016, № 1). Закончилось торжественное заседание концертом всемирно известного Казанского государственного камерного оркестра “La Primavera” под управлением Р.Ю. Абязова.

В последующие дни на Конференции обсуждались фундаментальные научные проблемы исследований планет и их спутников, промышленного робототехнического освоения Луны к 2017–2020 гг., марсианской пилотируемой экспедиции в 2030 гг. В обширную программу вошла работа многочисленных секций, специальных историко-мемориальных сессий, молодежной школы-конференции, рабочих групп и круглых столов; обзорные пленарные и сессионные доклады. Специалисты рассмотрели широкий круг научных проблем космических исследований, навигации, геодезии, небесной механики, астрометрии, физики и орбитальной динамики систем Земля – Луна, Марса, Юпитера, Сатурна, малых тел Солнечной системы, а также магнитных и гравитационных полей Земли и планет. Обсуждались результаты современных и перспективы будущих планетных программ.

Академик **М.Я. Маров** рассказал о российских планах исследования Луны и других тел Солнечной системы. В области фундаментальных исследований намечен второй этап лунной программы, рассчитанный на семь лет и разработанный в ИКИ РАН, ГАИШ МГУ и Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского. В программу включены полеты пяти автоматических межпланетных станций (их по традиции назвали “Лунами”), которые создаются в НПО им. С.А. Лавочкина. В ноябре 2018 г., согласно Федеральной космической программе (ФКП-2015), стартует АМС “Луна-25” (бывший проект “Луна-Глоб”) с 10 научными приборами. Станция должна совершить посадку в южной полярной области Луны и провести исследования лунной поверхности, в том числе измерить температуру поверхности, определить запасы водяного льда и проанализировать собранные образцы грунта. На 2021 г. намечены исследования химического состава Луны с борта искусственного спутника “Луна-26” (“Луна-Орбитер”), еще через два года – второй спускаемый аппарат “Луна-27”



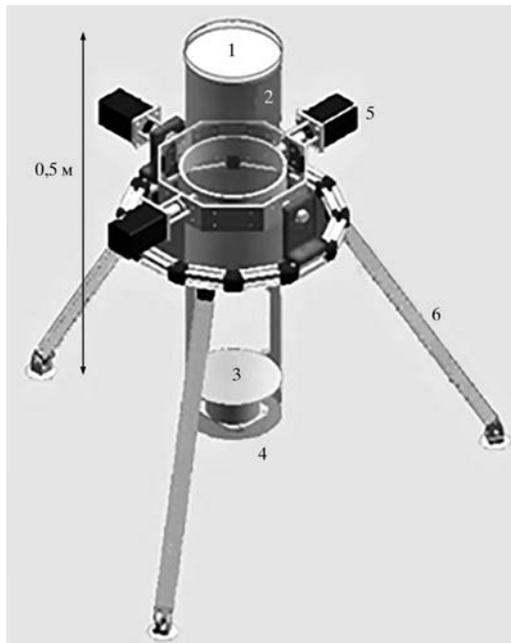
Заседание планетной секции. Фото Е. Минеева.

(“Луна-Ресурс”) с буровой установкой совершит посадку на южный полюс Луны и исследует пробы грунта и водяного льда. Следующим шагом лунной программы станет забор и доставка на Землю лунного грунта из полярной области с помощью АМС “Луна-28”. В 2025–2027 гг. предполагается доставить на Луну российский луноход нового поколения с помощью АМС “Луна-29”. ФКП-2015 предусматривает в последующие годы развернуть работы по пяти проектам: “Венера-Д” (посадочный аппарат длительного функционирования на Венере), “Марс-Нэт” и “Марс-Грунт” (исследование Марса и его спутников), “Меркурий-П” (посадочный аппарат на поверхность Меркурия), “Сокол-Лаплас” (исследование системы Юпитера и его спутника Европы), экспедиция к одному из ближайших к Земле астероидов (Земля и Вселенная, 2014, № 3; 2015, № 1). Программа полета будет включать

геофизическое и геохимическое изучение поверхности Европы, попытку найти признаки жизни в ее подледном океане.



*Профессор Д.Ф. Оберст (Германия).
Фото Е. Минеева.*



Лунный телескоп PZT с диаметром главного зеркала 20 см, разработанный научной группой доктора Х. Ханада (Япония). На рисунке показаны: 1 – объектив, 2 – труба телескопа, 3 – ртутное зеркало, 4 – наклонметр, 5 – мотор для регулировки по осям вращения трубы, 6 – штатив.

Профессор Ю. Оберст (Германия) выступил с докладом “PhoDEx” и будущие спутниковой системы Марса”. В 2024 г. ESA планирует запустить АМС “PhoDEx” (исследования Фобоса и Деймоса) для решения проблемы происхождения и эволюции марсианских спутников. После выхода на орбиту Марса, станция, используя различные методы, должна получить новые данные о морфологии, внутреннем строении и фигуре спутников, их гравитационном поле, спектральных и термических характеристиках поверхности. На основе статистического анализа кратеров будет определен возраст проходивших на поверхности Деймоса и Фобоса геологических процессов. Датчики космического аппарата будут фиксировать взаимо-

действие солнечного ветра с лунным грунтом, чтобы понять процессы эволюции рельефа и изменения свойств реголита. Мощный бортовой радар, работающий в коротковолновой области спектра, сможет исследовать внутреннюю структуру реголита. В полярной области Фобоса с “PhoDEx” предусматривается сброс платформы, которая рассчитана на работу в течение трех месяцев. С помощью спектрометра специалисты определяют химический состав и минералогию грунта Фобоса, сейсмометр регистрирует удары и тепловые всплески при падении микрометеоритов, радиосистемы АМС выполняют точные измерения орбитального и вращательного движения Фобоса, для того, чтобы определить его структурные параметры. “PhoDEx” даст максимально полную картину структуры и эволюции марсианских спутников, а также улучшит наше понимание формирования и эволюции других планетных систем.

Японская делегация в составе докторов **С. Сасаки, Х. Ханада, К. Матсумото** представила серию докладов по исследованию Луны. Рассмотрены вопросы анализа внутренней структуры Луны на основе селенодезических данных, полученных ИСЛ “GRAIL” и “Лунный орбитальный разведчик”, а также сейсмометрами, установленными астронавтами программы “Аполлон” на поверхности Луны (Земля и Вселенная, 2012, № 2, с. 35–36; 2009, № 6, с. 99–102; 2009, № 5). Планетологи представили результаты наземных испытаний небольшого 20-см телескопа-рефлектора PZT (фотографический зенитный телескоп), разработанного доктором Х. Ханада (Япония), чтобы проводить наблюдения с поверхности Луны с целью исследования физической либрации Луны. Проверены все его системы и программное обеспечение, эффект от колебаний грунта и изменения температуры CCD-матрицы оценен с точностью 0,1”. Предварительные наблюдения показали, что разброс звездных

положений составил около 0,4 угловых секунд, что немного больше, чем ожидалось. PZT будет исследовать физическую либрацию Луны с ее поверхности в автоматическом режиме, установка его на поверхности Луны планируется в ближайшие 5 лет в ходе полета АМС «Селена-3» (Япония).

Научный координатор проекта «Венера Экспресс», научный руководитель проекта «JUICE» (исследования ледяных лун Юпитера), сотрудник ИКИ РАН и Института исследований Солнечной системы Общества им. Макса Планка (Германия) доктор физико-математических наук **Д.В. Титов** сделал доклад о результатах исследований Венеры с помощью ИСВ «Венера Экспресс» (ESA), который работал с апреля 2006 г. до декабря 2014 г. (Земля и Вселенная, 2006, № 3; 2009, № 6; 2012, № 3; 2015, №№ 1, 5). За это время станция выполнила глобальный обзор динамики, состава и свойств атмосферы и облачного покрова планеты, были получены данные о структуре, температуре, о морфологии поверхности и ее взаимодействии с солнечным ветром. Установлено, что вертикальные профили градиента температуры атмосферы Венеры имеют сильную тенденцию изменений в мезосфере и верхней тропосфере, коррелируют с переменной в структуре верхних слоев облаков и показывают конвективную неустойчивость на высоте 50–60 км. Выявлены значительные широтные и временные вариации в структуре облачности, модулирующие количество солнечной энергии, поступающей в атмосферу. Верхняя граница облаков колеблется от 72 км в низких и средних широтах до 64 км в полярной области, в которой, наряду с уменьшением аэрозольной составляющей на высоте от $4 \pm 1,6$ км до $1,7 \pm 2,4$ км, отмечается сильная полярная депрессия. Ультрафиолетовые изображения дали возможность исследовать облака в средних широтах и полярных регионах с беспрецедентной точностью. Определено, что центр Южного полярного вихря по своей ди-



Научный сотрудник Европейского космического агентства Д.В. Титов выступает с докладом об исследовании Марса и Венеры. Фото Е. Минеева.

намике оказался переменной функцией со сложной динамикой.

Китайская делегация представила ряд докладов по планетным исследо-



Руководитель отдела спутниковых исследований Шанхайской обсерватории Шуанген Джин (Китай). Фото Е. Минеева.



Научный сотрудник Астрономической обсерватории Лазурного берега в Ницце Дж.М. Торре (Франция). Фото Е. Минеева.

ваниям. Доктор **Шуанген Джин** выступил с аналитическим обзором о современной геодезии и дистанционном зондировании планет. Ученый представил методы исследований формирования, структуры, динамики и эволюции планет с помощью интерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ), лазерной локации и альтиметрии, многоспектрального тепловизора и микроволнового радиометра. С 1960-х гг. изучаются Луна, Марс, Венера, Юпитер и другие тела Солнечной системы. Получены данные об атмосферах, поверхностных процессах, эволюции и внутреннем строении небесных тел, межпланетной среды. Доктор **Менг Джигио** сообщил о тепловых характеристиках Луны, полученных АМС “Чанъэ-2” (2010–2012); Земля и Вселенная, 2011, № 2, с. 110; 2013, № 3, с. 106; 2013, № 5, с. 36–37). К одной из важных задач лунных исследований относится характеристика тепловых лунных излучений, особенно “горячих точек”, с целью лучшего понимания процессов базальтового вулка-

низма и тепловой эволюции. В 1965 г. впервые были выявлены и каталогизированы по инфракрасным тепловым данным “горячие точки” на Луне. Авторы назвали регионы с высокими отклонениями поверхностной температуры, зарегистрированных в эксперименте CELMS (сверхвысокочастотное детектирование “Чанъэ-1/2”). Теоретически, ее значения более всего зависят от температурного профиля лунного реголита. Аномально высокие температуры, вероятно, указывают на субстрат, присутствующий в грунте, так как в полночь температура окружающей среды и на поверхности Луны однородна. Регионы с аномально высокой температурой распространены в морях и горной местности, то есть там, где недавно происходили процессы базальтового вулканизма. Вероятно, Луна до сих пор геологически активна и внутри нее есть источник тепла. Кроме того, обнаружены восемь крупных вулканов, семь из них расположены в районах с аномалиями температуры.

Профессор **Дж.М. Торре** (Франция) раскрыл историю и показал современное состояние лазерной локации Луны. Она стала возможна после установки на Луне лазерных уголкового отражателей экипажем КК “Аполлон-11” в июле 1969 г. Через одиннадцать дней, 1 августа, получены первые данные о точном расстоянии между Землей и Луной в Ликской обсерватории (США). 19 августа 1969 г. обсерватория Макдональд (США) приняла первый отраженный импульс с лазерного отражателя “Аполлона-11”. В 1970 г. специалисты выполнили измерения на астрономических обсерваториях Макдональд (США) и Пик-дю-Миди (Франция), а также в Крымской астрофизической обсерватории (СССР), а затем и на других наблюдательных площадках. Таким образом, на Луне появились другие лазерные уголкового отражатели, установленные на “Луноходе-1” (1970) и “Луноходе-2” (1973), а также в 1971 г. четыре отражателя на Луну доставили



Участники Конференции на балконе башни телескопа-рефрактора Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта. Фото Ю.А. Нефедьева.

экипажи “Аполлона-14 и -15”. За 40 лет большинство измерений сделано на обсерваториях Макдональд, Грасс (Франция) и Халеакала (Гавайи, США).

В основной части Конференции прозвучало много важных и интересных докладов. Следует упомянуть такие, как: “Точные оценки общего члена ряда Лапласа для тел нерегулярной структуры” заведующего кафедрой небесной механики СПбГУ доктора физико-математических наук К.В. Холшевникова, “Геофизика галилеевых спутников Юпитера” научного сотрудника отдела планетарной геодезии Института планетных исследований Германского аэрокосмического центра доктора Х. Хусмана, “Зоны низкой вязкости на Луне и некоторые петрологические константы их внутренней температуры” кандидата физико-ма-

тематических наук С.А. Воропаева. (ГЕОХИ РАН).

Делегатам был вручен сборник трудов Конференции в области планетной астрономии “SPACEKAZAN-IAPS-2015”.

Культурно-просветительская программа конгресса включала в себя увлекательные экскурсии по музеям Казанского Кремля и Казанского университета, автобусную поездку в Раифский монастырь, экскурсию в Астрономическую обсерваторию им. В.П. Энгельгардта с посещением музея астрономии, пароходное путешествие по Волге до острова Свяяжск.

МОЛОДЕЖНАЯ ШКОЛА
ПО АСТРОНОМИИ В КАЗАНИ

С 5 по 7 июня 2015 г. в рамках Конференции в Казанском университете и Академии наук Республики Татарстан состоялась молодежная школа “Косми-



Выступает доктор физико-математических наук В.И. Шематович (ИНАСАН). Фото А.И. Галеева.

ческая наука". Тематика школы была посвящена современным исследованиям планет и астероидов, координатно-измерительным системам в астрономии и геодезии, а также образовательной деятельности ведущих планетариев России. Проведение Школы стало возможно благодаря поддержке Фонда некоммерческих программ Дмитрия Зимина "Династия". Средства гранта пошли на компенсацию проживания участников Школы в общежитии Казанского университета в Деревне Универсиады и в гостиницах.

В работе молодежной школы приняло участие около 60 человек, в их числе школьники старших классов, студенты, аспиранты и молодые ученые Института физики Казанского университета, Института астрономии РАН (Москва), Пулковской обсерватории (Санкт-Петербург), чебоксарских школ и университета, представители Астраханского, Йошкар-Олинского, Уфимского и Ярославского планетариев. Международный статус Школе добавило участие в

ее работе сотрудников Актюбинского планетария (Казахстан).

В первые два дня заседания проходили в малом зале Академии наук РТ. Участники прослушали лекции ведущих ученых, приглашенных на Конференцию, и преподавателей кафедры астрономии и космической геодезии Казанского университета, посвященные последним достижениям в космических исследованиях Земли, планет и малых тел Солнечной системы. Тематика популярных лекций получилась довольно разнообразной, поэтому любой участник мог найти наиболее интересные темы для обсуждения.

5 июня работу Школы открыл ее научный руководитель – заведующий отделением астрофизики и космической геодезии Института физики Казанского университета академик АН РТ Наиль Абдуллович Сахибуллин. С приветственным словом от имени руководства Академии наук РТ к присутствующим обратился советник Президиума АН РТ академик Шамиль Мидхатович Чабдаров, он сообщил, какую роль играет Академия Наук РТ в развитии науки и образования в республике. В завершение Ш.М. Чабдаров вручил шестерым студентам разных вузов именные премии Академии наук Республики Татарстан. Коротко скажем о докладчиках. **Н.А. Сахибуллин** сообщил об основных достижениях более 150-летней истории казанской астрономической школы (Земля и Вселенная, 2009, № 1).

Доктор физико-математических наук **В.И. Шематович** (ИНАСАН) охарактеризовал особенности малых тел Солнечной системы – астероидов и комет, изложил методы их изучения и сообщил первые результаты исследований кометы Чурюмова – Герасименко, полученные с помощью АМС "Розетта" (Земля и Вселенная, 2015, № 2, с. 108–110; 2015, № 4). Большой интерес и оживленные дискуссии, которые продолжились и после окончания лекции, вызвал доклад доктора физико-математических наук **Д.В. Титова** (ИКИ РАН),

посвященный данным, полученным орбитальными аппаратами “Марс Экспресс” и “Венера Экспресс”. Длительные исследования Марса и Венеры позволили лучше понять особенности строения их атмосфер, обнаружить новые загадочные явления – такие, как необычная структура распределения температуры в атмосфере Венеры.

После завершения заседания участники Школы совершили экскурсионную поездку в Раифский монастырь и на остров-град Свияжск, где ознакомились с историей их появления и архитектурными памятниками.

На следующий день во время утреннего заседания обсуждались проблемы проектирования и движения космических аппаратов, влияния релятивистских и космологических эффектов на перемещение тел Солнечной системы. Об использовании двигателей малой тяги в межпланетных экспедициях рассказал профессор Санкт-Петербургского университета **К.В. Холшевников**. По его словам, их применение можно использовать для корректировки движения потенциально опасных астероидов, которые могут столкнуться с Землей. Прослушаны лекции докторов физико-математических наук: **С.И. Ипатова** (ГЕОХИ РАН), – который рассмотрел вопросы формирования и эволюции планетных систем, эффектов миграции малых тел и пыли в Солнечной системе при столкновении с планетами и миграции планетезималей в формирующейся планетной системе; **Р.А. Кащеева** (Казанский университет) – посвященный вопросам использования методов космической геодезии в изучении поверхности Земли и планет Солнечной системы; **М.Е. Сачкова** (ИАСАН) – в котором были представлены задачи ультрафиолетовой астрономии, позволяющие исследовать широкий круг астрономических объектов.

Выездное заседание Школы состоялось 7 июня в Планетарии Астрономической обсерватории им. В.П. Эн-



Я.В. Губченко (“Общество сферического кино”, Нижний Новгород) держит планшет, с помощью которого управляет 3D-системой “Горизонт событий” на куполе планетария. Фото А.И. Галева

гельгардта Казанского университета. Лекции прочитали представители ведущих планетариев России и специалисты по созданию полнокупольных программ. На заседании обсудили важнейшие вопросы организации работы современных планетариев и продемонстрировали возможности новейшего оборудования Планетария АОЭ, открытого в июне 2013 г. (Земля и Вселенная, 2014, № 5).

Директор объединения “Свентос АРТ-Медиа” (Москва), бывший технический директор Московского планетария **А.В. Лобанов** выступил с докладом о месте современных планетариев в искусстве, науке и образовании. Программа была подготовлена в полнокупольном формате и включала просмотр короткометражного фильма “Свет” (компания “Карл Цейс”), посвященный объявленному ООН в 2015 г. Году Света, и рекламного ролика немецкого музыкального шоу “Light Mond” (свет Луны). А.В. Лобанов в настоящее время занимается проектированием,

оснащением и сервисной поддержкой большинства планетариев России. Исполнительный директор “Общества сферического кино” (признанный российский лидер полнокупольных изображений) **Я.В. Губченко** продемонстрировал возможности современных цифровых систем для планетариев и прорекламирал новую интерактивную 3D-среду “Горизонт событий”. Она позволяет использовать огромные базы данных звезд (каталоги ТУСНО и HIPPARCOS), объектов далекого космоса, экзопланет и тел Солнечной системы для их визуализации с потрясающей точностью. Система управляется с экрана iPad. Директор Уфимского планетария **А.П. Денисов** и заведующая методическим отделом Ярославского планетария **Е.Н. Тихомирова** поделились с коллегами и школьниками опытом в образовательной деятельности, отметив ее основные трудности и новые возможности в организации. В заключение преподаватели Института физики Казанского университета **А.И. Галеев** и **В.М. Бердникова** прочитали лекции для студентов и школьников с показом звездного неба и программы “Путешествие по планетам Солнечной системы”.

Конференция “Наблюдение и исследование Луны, планет и их спутников” приняла резолюцию о том, что мировым научным сообществом за последние годы проделана большая и плодотворная работа в области планетной астрономии и роботизированном освоении Луны, получено большое количество уникальных наблюдений и выполнены важнейшие научные исследования.

На конференции были представлены более 96 работ по актуальным проблемам освоения Солнечной системы, теоретическим и экспериментальным исследованиям Луны, Марса, Венеры, Меркурия, спутникам планет, внешних планет и малых тел, а также по общим проблемам небесной механики, геофизики и планетарных миссий. Участники Конференции высоко оценили высокий научный уровень докладов, представленных на форуме, выразили благодарность ее организаторам.

Ю.А. НЕФЕДЬЕВ,

*доктор физико-математических наук
директор Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта*

А.И. ГАЛЕЕВ,

доцент Института физики Казанского университета

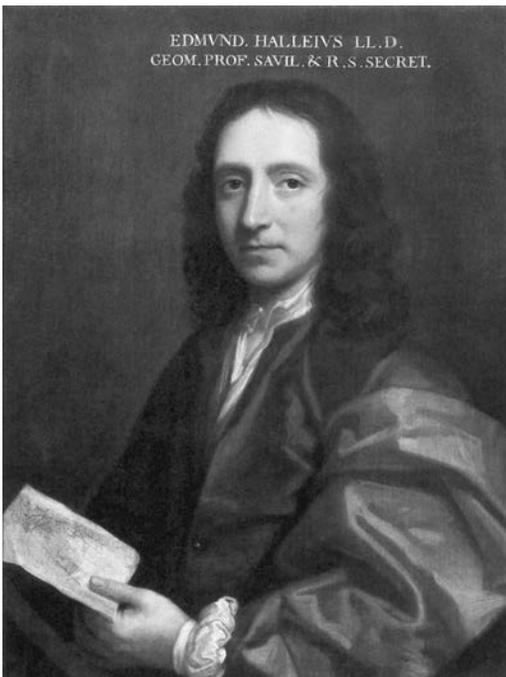
Исследование кометы Галлея

(к 30-летию полета АМС “Вега” и “Джотто”)

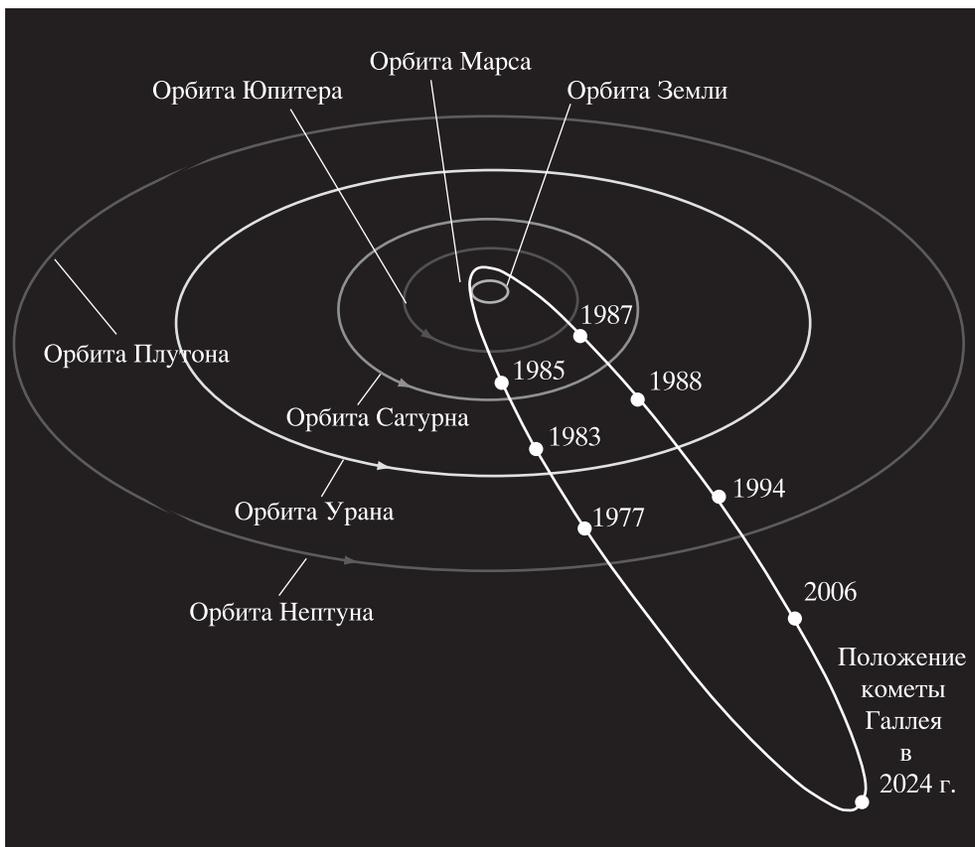
Комета Галлея – несомненно, самая популярная из комет. Английский Королевский астроном, геофизик, математик, метеоролог, физик и демограф Эдмунд Галлей (1656–1742), анализируя элементы орбит 24 наиболее ярких комет, обнаружил сходство между кометами 1531 г., 1607 г. и 1682 г. (Земля и Вселенная, 1982, № 4). Кометы наблюдали немецкие астрономы

П. Апиан (Земля и Вселенная, 1995, № 3) и И. Кеплер. В 1680–1681 г. Э. Галлей тоже видел на небосводе комету C/1680 V1, называемую кометой Ньютона. После изучения исторических записей в 1705 г. Э. Галлей составил первый каталог элементов орбит 24 комет и обратил внимание на совпадение их движения; он пришел к выводу, что это одна и та же комета с периодом 75–76 лет. В 1684 г. на заседании Лондонского Королевского общества Э. Галлей предсказал ее очередное возвращение, которое подтвердилось: комета прошла перигелий 13 марта 1759 г. С тех пор эта яркая короткопериодическая комета названа именем Галлея (1P/Halley; Земля и Вселенная, 1982, № 5).

Вариации периода обращения 74–79 лет и орбитальных элементов кометы Галлея связаны с гравитационным влиянием Юпитера и Сатурна, мимо которых пролетает. Она обращается со скоростью до 70,56 км/с в направлении, противоположном движению планет, по сильно вытянутой эллиптической орбите с наклоном к плоскости эклиптики на $18,5^\circ$ и эксцентриситетом 0,967, расстояние от Солнца в афелии – 35 а.е., в перигелии – 0,587 а.е. (между Меркурием и Венерой), причем пролетает над плоскостью эклиптики на высоте 0,17 а.е. (25,4 млн км). В период приближения к Солнцу (в перигелии) с поверхности ее ядра субли-



Эдмунд Галлей. Портрет Т. Мюррея. 1687 г.



мируются летучие вещества с малой температурой кипения: вода, оксид углерода, метан, азот и другие замерзшие газы. Этот процесс приводит к образованию комы, которая может в поперечнике достигать 100 тыс. км. Испарение грязного льда высвобождает пылевые частицы, которые относятся газом от ядра. Действие солнечного излучения на кому приводит к образованию хвоста кометы протяженностью около 30 млн км. У кометы Галлея наблюдались хвосты I (газопылевой в направлении от Солнца) и II (изогнутый ионный в направлении орбиты) типов. Хвост III типа предположительно наблюдался в 1835 г. На фотографиях 1986 г. хорошо видны характерно окрашенные хвосты I и II типа. Поскольку орбита кометы сближается с земной в двух точках, то порождаемая кометой Галлея пыль

Схема траектории движения кометы Галлея.

образует два метеорных потока – η-Аквариды (в начале мая) и Ориониды (в конце октября). Предполагается, что кометы галлеевского типа изначально были долгопериодическими кометами из облака Оорта, орбиты которых изменились под влиянием гравитационного притяжения планет-гигантов. Результаты численного моделирования показывают, что комета Галлея находится на нынешней орбите 16–200 тыс. лет. Это самая активная из всех периодических комет. Последние исследования показывают, что она испарится или распадётся ее ядро через несколько десятков тысячелетий; либо она будет выброшена из Солнечной системы

через несколько сотен тысяч лет. За последние примерно 3 тыс. возвращений ядро кометы Галлея уменьшилось в массе на 80–90%.

В 1843 г. французский физик и астроном Ж.-Б. Био, уже зная средний период кометы Галлея, откладывая его назад, в прошлое, попытался идентифицировать предыдущие ее появления среди зафиксированных китайских наблюдений после 65 г. до н. э. На основании схожести орбит нескольких возможных кандидатов Ж.-Б. Био смог идентифицировать ее как комету 989 г. Используя китайские данные, Ж.-Б. Био распознал комету Галлея в осенней комете 1378 г., сравнив с описаниями видимый путь кометы на небе, рассчитанный на основании известных элементов орбиты. Аналогичным образом им были выявлены наблюдения кометы Галлея в 451 г., 760 г. и в 1301 г.

Комета Галлея с хвостами I и II типа. Февраль 1986 г.

Многие ученые пытались рассчитать движение кометы, но на больших промежутках времени это сделать невозможно из-за влияния планет-гигантов на возмущения ее орбиты. В XIX в. изучение хроник (особенно китайских) помогло восстановить 27 появлений кометы, начиная с 240 г. до н.э., и три будущих – в 1835 г., 1910 г. и в 1986 г.

Одно из первых изображений кометы – запечатленная как Вифлеемская звезда на одной из фресок “Поклонение волхвов” для Капеллы Скровеньи в Падуе кисти знаменитого итальянского живописца времен Возрождения Джотто ди Бондоне (написанную под впечатлением от ее наблюдения в 1301 г.). Европейская межпланетная станция названа в честь Джотто.

В феврале 1986 г. ожидалось очередное прохождение кометой Галлея перигелия. Ученые всего мира готовились к долгожданной встрече. СССР, Европейское космическое агентство и Япония запустили космические аппараты для ее исследования.





В нашей стране в конце 1969 г. были созданы базовые универсальные модули космических аппаратов в НПО им. С.А. Лавочкина под руководством главного конструктора Г.Н. Бабакина (Земля и Вселенная, 1997, № 4; 2004, № 6). Такие модули успешно использовались почти 20 лет в программах “Марс”, “Венера”, “Астрон” и “Гранат”. В 1973 г. совет “Интеркосмос” АН СССР и Французский национальный центр космических исследований (CNES) подписали соглашение о совместной разработке проекта “Венера” для исследования Венеры. В 1977 г. были

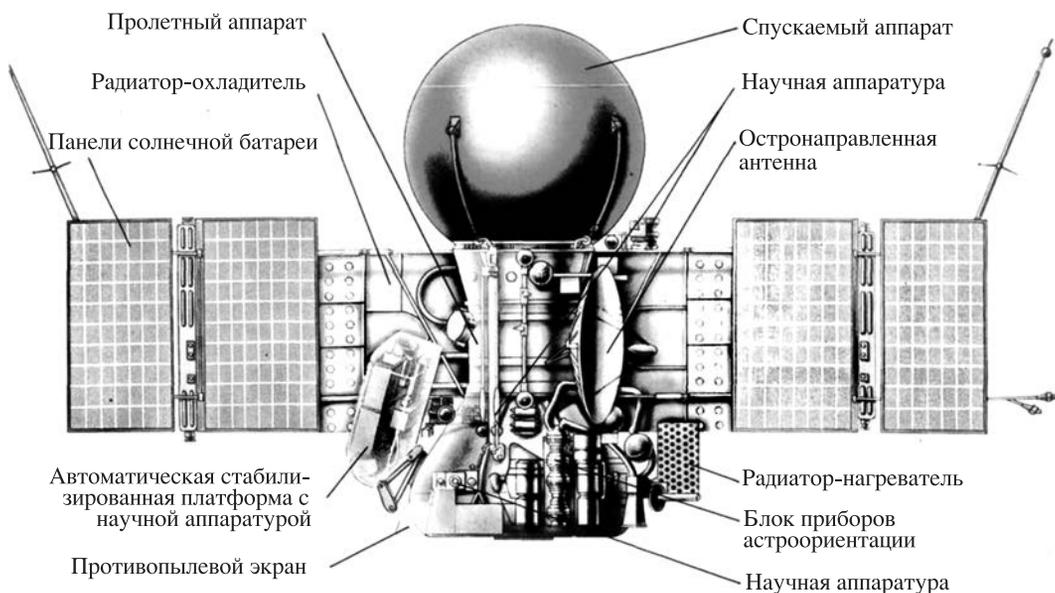
Фреска Джотто ди Бондоне “Поклонение волхвов”. 1301 г.

выпущены “Основные положения на разработку космического аппарата”; в 1978–1979 гг. подготовлены советско-французские технические предложения по проекту. Французская сторона взяла на себя обязательство по созданию аэростатной системы и части научной аппаратуры, а советская отвечала за проект в целом. Директором проекта стал заместитель главного конструктора НПО им. С.А. Лавочкина,

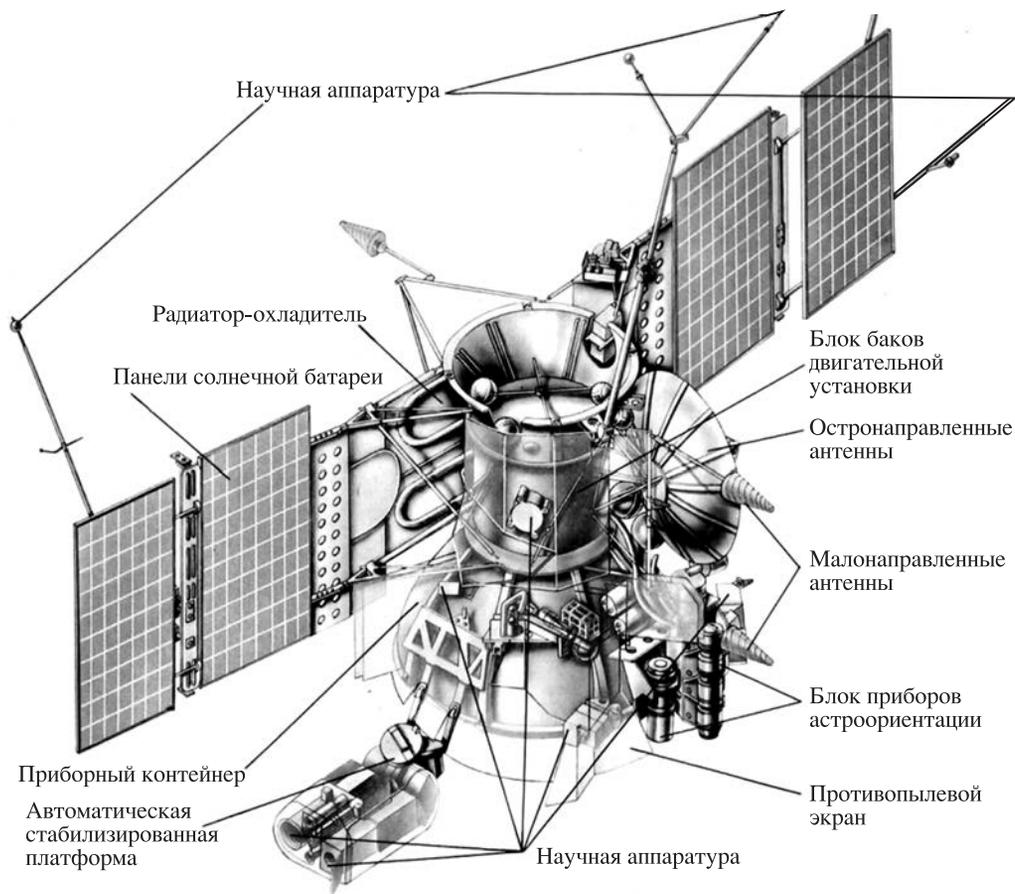
начальник проектного комплекса, возглавлявший создание межпланетных станций, – Р.С. Кремнёв. В 1978 г. под его руководством разработано техническое предложение по проекту, предусматривающее доставку в атмосферу Венеры спускаемого аппарата массой 2400 кг и развертывание аэростатной станции с массой гондолы – 240 кг. В 1980 г. АН СССР и НПО им. С.А. Лавочкина выступили с совместным предложением организовать экспедицию к комете Галлея с попутным облетом Венеры. Горячим сторонником этой идеи был директор Института космических исследований АН СССР академик Р.З. Сагдеев. В 1981 г. утвердили проект, баллистическую схему полета и состав научной аппаратуры. Стали изготавливать АМС, главным конструктором и техническим руководителем уникального по насыщенности исследований международного проекта “Венера – комета Галлея” (“Вега”; Земля и Вселенная, 1985, № 1) был Герой Советского Союза, член-корреспондент АН СССР доктор технических наук В.М. Ковтуненко. Р.З. Сагдеев пред-

ложил после исследования Венеры использовать орбитальный отсек станции в качестве пролетного – для изучения кометы Галлея. В октябре 1980 г. на очередном советско-французском совещании по проекту “Венера” удалось договориться с французской стороной о создании научной аппаратуры; разработку аэростата взяло на себя НПО им. С.А. Лавочкина. Академик Р.З. Сагдеев стал научным руководителем проекта, в котором участвовали ученые Австрии, Болгарии, Венгрии, Германии, Польши, Чехословакии и Франции. Задачи в исследовании Венеры: измерение параметров и химического состава ее атмосферы, облачности и грунта, а кометы Галлея – определение размеров и массы кометного ядра, его фотографирование, регистрация физического, химического и изотопного состава газа и пыли в коме, магнитных полей и взаимодействия плазмы с солнечным ветром.

Несмотря на сложность проекта и участие многих предприятий ракетно-космической отрасли, АМС “Вега”



Расположение основных частей и приборов на АМС “Вега”.



Устройство пролетного аппарата АМС "Венера".

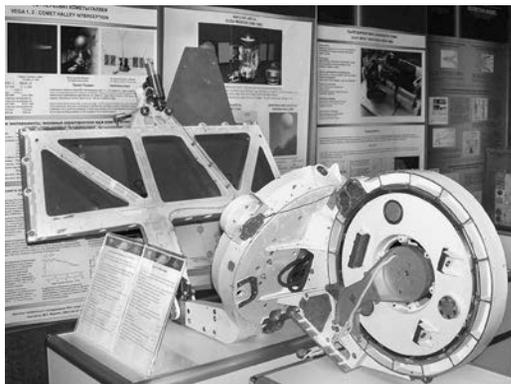
были подготовлены к моменту открытия "стартового окна". Они состояли из трех частей: пролетных аппаратов для исследования кометы, спускаемых аппаратов для посадки на поверхность Венеры и аэростатных зондов для дрейфа в атмосфере Венеры (Земля и Вселенная, 1984, № 1).

На пролетных аппаратах АМС "Венера" массой 3170 кг были установлены 14 научных приборов: ТВ-камера, ИК-спектрометр, трехканальный (0,3–1,7 мкм) и пылеударный масс-спектрометры для исследования химического состава пылевых частиц, три счетчика пылевых частиц, магнитометр, спектрометры кометной плаз-

мы и энергичных частиц, три анализатора плазменных волн, измеритель нейтрального газа. Принципиально новым способом наблюдения за быстродвижущимся объектом – ядром кометы – стала поворотная автоматическая стабилизированная платформа АСП-Г, укрепленная на раме пролетных аппаратов; разработана совместно СССР и Чехословакией. На ней разместили телевизионную систему, инфракрасный и трехканальный спектрометры, датчик наведения. В течение большей части полета АСП-Г находилась в транспортном положении, ее перевели в рабочее состояние незадолго до пролета около ядра коме-

ты Галлея. Кроме оптической аппаратуры, на посадочном аппарате “Вега-1” были установлены приборы для исследования концентрации и химического состава пыли и исследования плазмы. Данные приборов поступали на Землю в режиме реального времени.

Конструкция спускаемых аппаратов подверглась небольшой доработке, по сравнению со станциями “Венера-9–14” и в связи с необходимостью размещения дополнительной аппаратуры. Внутри спускаемых аппаратов станций массой 1750 кг (в том числе масса аэростатов) находились посадочные аппараты массой 740 кг. На каждом посадочном аппарате располагалось 10 приборов: газовый хроматограф и спектрофотометр для получения спектров газов и определения химического состава атмосферы и облачного слоя Венеры, датчики измерения давления и температуры, анализатор влажности, индикатор фазовых переходов, масс-спектрометр и спектрометр для изучения облаков и элементного состава аэрозоля. В нижней части посадочных аппаратов были установлены буровая установка с грунтозаборным

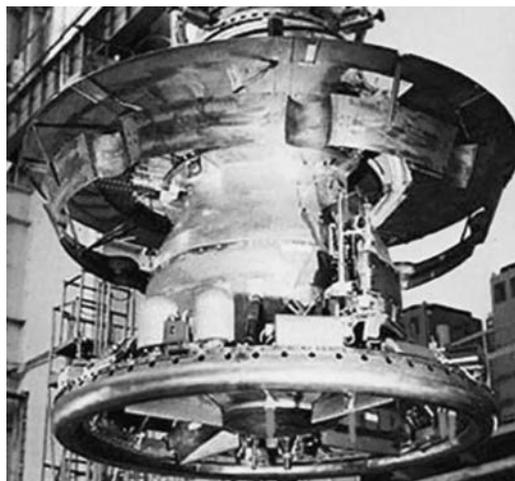


Поворотная автоматическая стабилизированная платформа АСП-Г. Музей ИКИ РАН. Фото автора.

устройством, спектрометр для анализа состава пород венерианского грунта, гамма-спектрометр для определения в венерианских породах содержания радиоактивных элементов (урана, тория, калия) и прибор для определения физико-механических свойств поверхностного слоя грунта.

На верхней части сферической теплозащитной оболочки спускаемых аппаратов фиксировались узлы крепления аэростатов, на цилиндрической части парашютного отсека – стеклотекстолитовые направляющие, обеспечивающие безударный сход зонда. Основу конструкции аэростата составил силовой конус, в его центральной части находился тор с разъемом. В торе размещались гондола с подвеской и оболочка аэростата. На верхней части силового конуса устанавливались системы автоматики, наполнения аэростата с гелиевыми баллонами высокого давления и парашютный контейнер аэростата.

Аэростатные зонды диаметром 3,4 м и массой 110 кг оборудованы гелиевыми баллонами, на капроновых фалах длиной 12 м висели гондолы массой 6,7 кг с радиокомплексом и блоком аппаратуры для измерения метеорологических параметров атмосферы Ве-



Спускаемый аппарат АМС “Вега” во время предполетных испытаний в НПО им. С.А. Лавочкина. 1984 г.



Аэростат для дрейфа в атмосфере Венеры диаметром 3,4 м и гондола с радио-комплексом и приборами. Музей ИКИ РАН. Фото автора.

неры (температуры, давления, вертикальных компонентов скорости ветра, плотности облачного слоя, освещенности и фиксации световых вспышек молний) во время многочасового дрейфа. Очень сложной оказалась проблема создания оболочек аэростатов, способных длительное время функционировать в облачном слое Венеры, насыщенном каплями концентрированной серной кислоты. Ввиду высокой текучести гелия, которым заполнялась оболочка, требования к герметичности становились более жесткими. Пришлось оболочку изготовить из фторлоновой ткани, сшитой из фрагментов в форме долек апельсина, внешнюю сторону покрыть несколькими слоями лака. Предусматривалась регистрация параметров с интервалом 75 с, а затем – передача их на Землю через каждые 30 мин.

15 декабря 1984 г., с космодрома Байконур стартовала ракета-носитель “Протон-К” с модифицированным разгонным блоком Д, с помощью которо-

го АМС “Вега-1” массой 4920 кг (в том числе масса научной аппаратуры – 117 кг) вышла на траекторию полета к Венере. Через шесть дней была запущена “Вега-2” массой 4923 кг. С момента выхода АМС на околоземную орбиту управление станциями осуществлялось из Центра дальней космической связи с помощью радиотелескопа РТ-70 под Евпаторией. Слежение за полетом аэростатных зондов в атмосфере Венеры и передачу информации от аэростатного зонда обеспечивали две сети приема. Советская, координируемая ИКИ АН СССР, включала радиотелескопы в Медвежьих озерах, Пушино, Симеизе, Улан-Уде и Уссурийске. В международную сеть, координируемую французским центром CNES, входили антенны в Канберре и Парксе (Австралия), Атибае (Бразилия), Мадриде (Испания), Пентиктоне (Канада), Аресибо (Пуэрто-Рико), Голдстоуне, Грин-Бэнке, Форт-Дейвисе (США), Эффельсберге (ФРГ), Онсала (Швеция) и Хартбестеке (ЮАР).

Продолжительность полета от Земли к Венере составила 178 сут. На трассе перелета длиной 45 млн км изучались межпланетные магнитные поля, солнечные и космические лучи, рент-



Старт РН “Протон-К” с АМС “Вега-1” с космодрома Байконур. 15 декабря 1984 г.

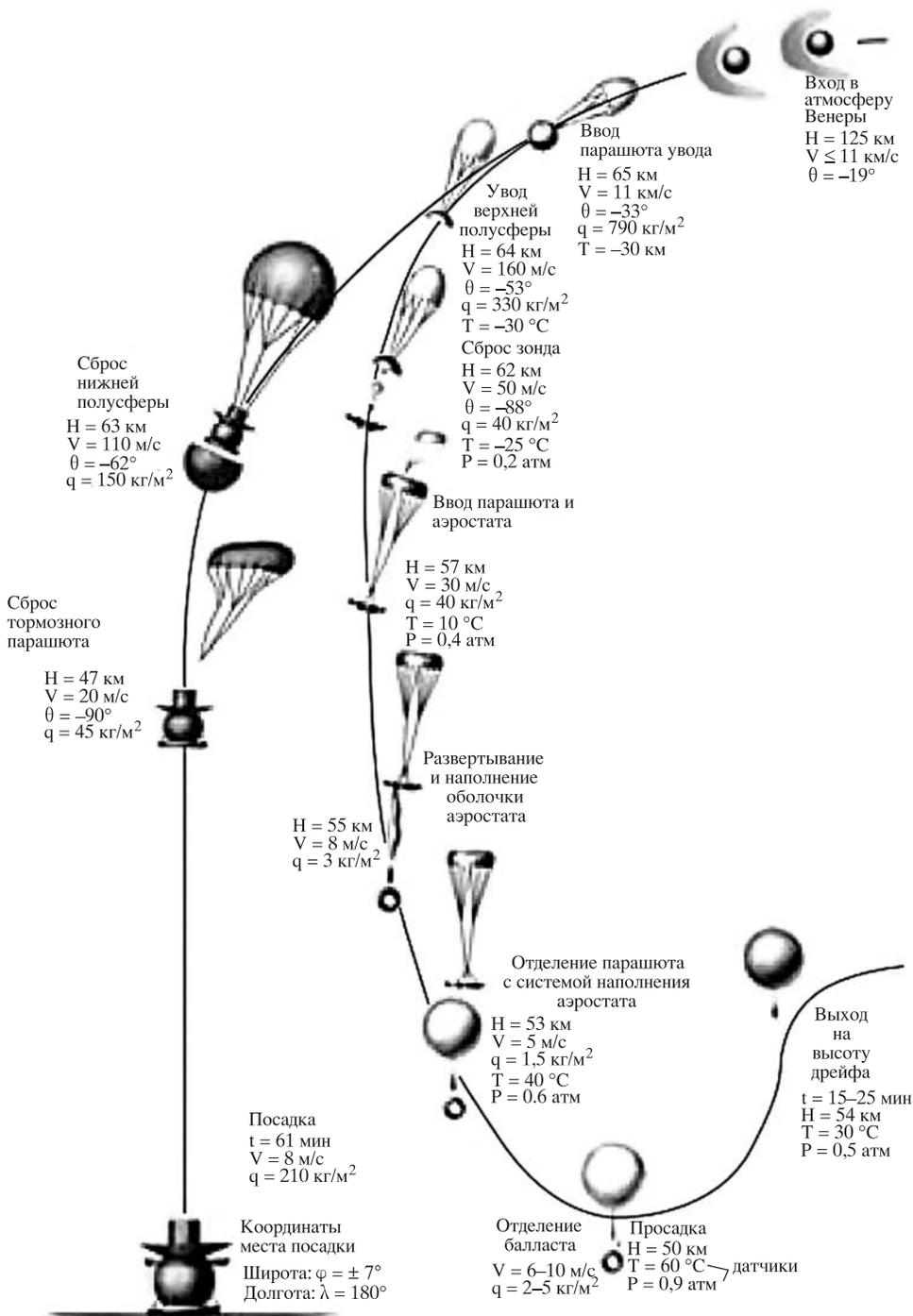


Схема спуска АМС "Вена" в атмосфере Венеры. Указаны высота, скорость и угол входа спускаемого аппарата, температура и плотность атмосферы, координаты места посадки "Вени-1".



Грунтозаборный механизм с буром на посадочном аппарате АМС "Вега". Музей НПО им. С.А. Лавочкина.

геновское излучение, распределение компонент нейтрального газа, регистрировались пылевые частицы. За двое суток до подлета к планете от станций отделились спускаемые аппараты, а пролетные – продолжили полет к комете.

11 и 15 июня 1985 г. спускаемые аппараты станций "Вега-1 и -2" вошли в атмосферу Венеры. После отделения верхней полусферы, в которой в сложном состоянии находился аэростатный зонд, каждая часть совершала автономный спуск. Через 10 мин после входа в атмосферу на высоте 46 км про-

изошел сброс тормозного парашюта, после чего спуск проходил на аэродинамическом тормозном щитке. На высоте 17 км сработал сигнализатор посадки у спускаемого аппарата "Вега-1", запустилась циклограмма работы приборов на поверхности планеты, в том числе грунтозаборный механизм. Получилось, что бур сверлил воздух, а вовсе не грунт Венеры. Спуск обоих аппаратов в атмосфере продолжался 63 мин. В процессе снижения посадочных аппаратов измерялись характеристики облачного слоя и химического состава атмосферы, концентрация серной кислоты в облаках, было обнаружено присутствие серы, хлора и фосфора. Плотность облаков (по земным меркам) оказалась невысокой, концентрация была максимальна в двух слоях, имеющих ширину 3–5 км и расположенных на высотах 50 и 58 км. Гамма-спектрометры обеих АМС, предназначенные для измерения содержания урана, тория и калия в венерианских породах, во время спуска посадочных аппаратов включились на высоте 25 км и функционировали вплоть до окончания их работы. В обеих точках, где они сели, обнаружены породы с относительно невысокими содержаниями естественных радиоактивных элементов. "Вега-1" мягко опустилась на ночную сторону планеты в низменную часть Равнины Русалки Северного полушария; "Вега-2" села в предгорьях Земли Афродиты в Южном полушарии, в 1600 км от места посадки "Веги-1". Спускаемые аппараты в течение 56 мин после посадки передавали научную информацию на Землю. "Вега-2" взяла грунт для анализа, он оказался близким к оливковому габбронориту (магматическая горная порода, содержащая кремнеземе – до 52% – и пироксениты) и сделала рентгенофлюоресцентные спектры. Аэростатные зонды всплыли на расчетную высоту 53–55 км, где давление составляло 0,5 атм, температура – 40° С. Первый зонд в течение 46 ч дрейфовал вдоль экватора в Север-

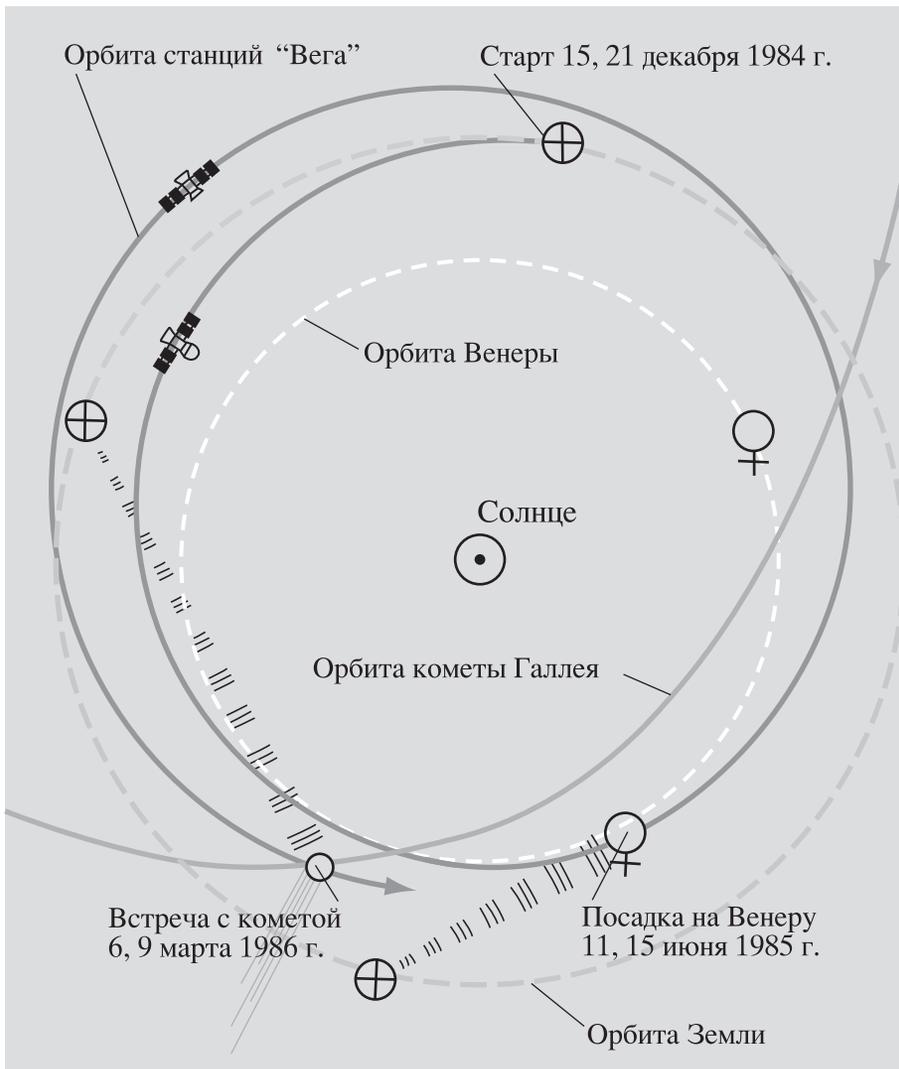
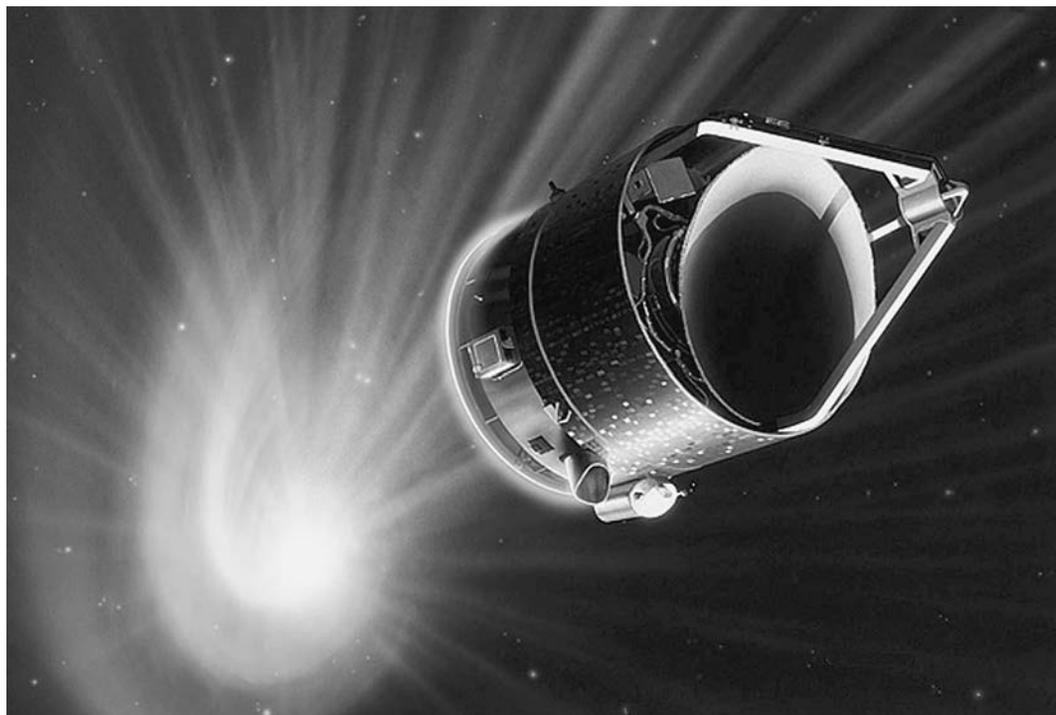


Схема траектории полета АМС "Вега" в 1984–1986 гг.

ном полушарии, второй – в Южном. Они преодолели расстояние 11,5 тыс. км со средней скоростью 69 м/с, измеряя вдоль трассы полета температуру, давление, вертикальные порывы ветра, среднюю освещенность и химический состав атмосферы. Данные зондов обнаружили активные процессы в облачном слое Венеры и суперротацию атмосферы. Когда зонд "Веги-2" пролетал в районе Афродиты над горой вы-

сотой 5 км, он попал в воздушную яму, резко снизившись (на 1,5 км). Оба зонда зафиксировали световые вспышки, – вероятно, грозовые разряды.

Обогнув Венеру на расстоянии 39 и 26,5 тыс. км соответственно, пролетные аппараты АМС "Вега-1" и "Вега-2" совершили баллистический маневр в поле тяготения планеты. 25 и 29 июня, выполнив коррекции траектории полета, станции устремились к своей конеч-



Пролет АМС “Джотто” (ESA) около кометы Галлея. Рисунок ESA.

ной цели – комете Галлея. В рамках проекта “Лоцман” регулярно проводились измерения траектории движения “Веги-1 и -2” и орбиты кометы с целью прокладки курса АМС “Джотто” (ESA). Они пронеслись с огромной скоростью мимо ядра кометы – 80 км/с (скорость движения станций – 34 км/с, кометы – 46 км/с). Благодаря тщательной математической подготовке и согласованным действиям большого международного коллектива удалось выдать все данные для последней коррекции “Джотто” для того, чтобы станция пролетела от ядра кометы на рекордном расстоянии, примерно в 550 км. Навигационный проект “Лоцман” был успешно реализован. Уточнение орбиты кометы продолжалось вплоть до прохождения станций мимо ее ядра.

4 марта 1986 г., когда расстояние от пролетного аппарата АМС “Вега-1” до кометы Галлея было 14 млн км, рас-

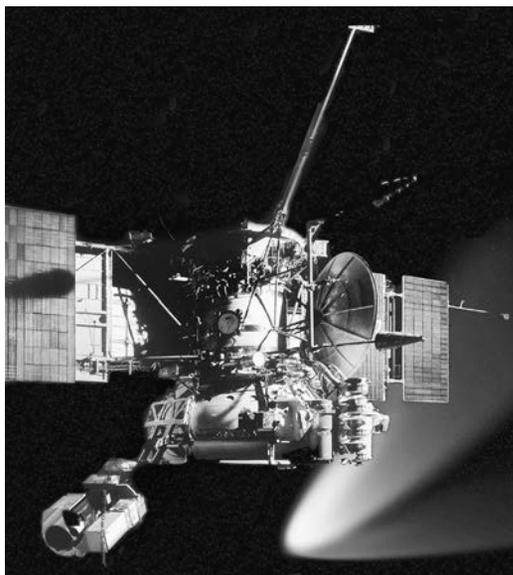
стояние до Земли – 170 млн км, состоялся первый сеанс связи. Через два дня, за 3 ч до максимального сближения с ядром кометы были включены научные приборы; расстояние до кометы составляло 760 тыс. км. Максимальное сближение “Веги-1” с ядром кометы составило 8087 км. 9 марта, за полчаса до максимального сближения (8030 км), произошел отказ в системе управления платформой АСП-Г станции “Вега-2”. Ситуацию удалось исправить, программа выполнена полностью. Сеансы продолжались около 5 ч.

Европейская межпланетная станция “Джотто” массой 960 кг была запущена 2 июля 1985 г. с помощью РН “Ариан-1” с космодрома Куру. На ней размещались 10 приборов: камера для получения цветных изображений ядра кометы, три масс-спектрометра измерения пыли, ионов и нейтральных частиц, два анализатора частиц высоких энергий и

плазмы, фотополяриметр для определения состава и структуры тепловых потоков комы, магнитометр и детектор столкновения с пылевыми частицами. В ночь с 13 на 14 марта 1986 г. “Джотто” пролетела на минимальном расстоянии (596 км) от ядра кометы Галлея (Земля и Вселенная, 1986, № 4, с. 32, 49). Расстояние станции до Земли в тот момент составляло около 150 млн км, скорость относительно кометы достигла 68 км/с. Получены детальные изображения лишь около 25 % поверхности ядра кометы Галлея. Они свидетельствуют о чрезвычайно сложной топографии с холмами, впадинами, горными хребтами и, по крайней мере, одним кратером. Пролетев на таком близком расстоянии от ядра кометы, “Джотто” получил повреждения от ее частиц: в частности, вышла из строя фотокамера. Полученные данные позволили уточнить строение и химический состав ядра и комы кометы.

После исследования кометы Галлея АМС “Джотто” перевели в “спящий” режим. В апреле 1990 г. она была возвращена в рабочее состояние, 2 июля совершила пролет рядом с Землей и затем ее направили на встречу с кометой Григга-Скьеллерупа, которая состоялась 10 июля 1992 г. (Земля и Вселенная, 1992, № 6). “Джотто” пролетела мимо ядра кометы на расстоянии около 200 км, и 23 июля 1992 г. в последний раз состоялся сеанс связи.

В ходе пролета “Вега-1 и -2” подверглись очень сильному воздействию кометных частиц. В результате мощность солнечных батарей упала почти на 45%, повреждено пять датчиков, в конце сеанса произошел еще и сбой трехосной ориентации, но она была восстановлена, что позволило провести еще два сеанса изучения кометы на отлете – 10 и 11 марта. Получены около 1500 изображений ее ядра и комы, уникальные научные результаты: удалось определить состав и структуру ядра, его размеры, форму и отражающую способность; наблюдали сложные про-

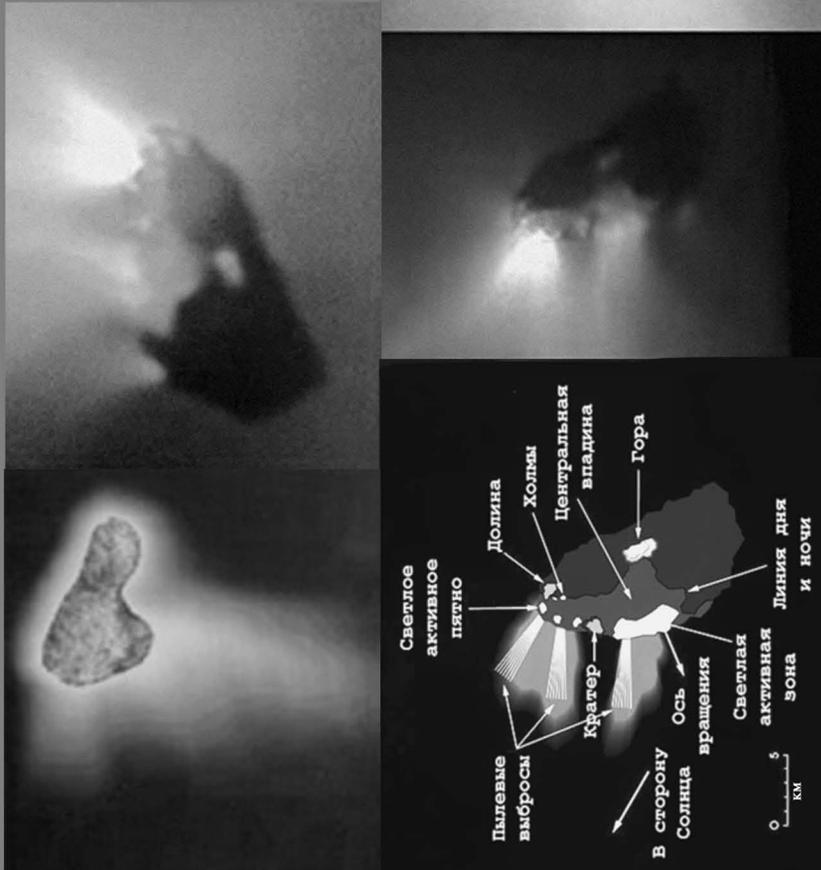


АМС “Вега” пролетает около кометы Галлея. Рисунок.

цессы внутри газовой и пылевой комы (Земля и Вселенная, 1986, № 3, 5; 1987, № 2).

Оказалось, что ядро массой $2,2 \times 10^{11}$ т, средней плотностью около 600 кг/м^3 (меньше плотности воды) представляет собой тело неправильной формы размером $14 \times 8 \times 7,5$ км. Оно вращается, совершая один оборот за 53 ч; температура поверхности нагревается до $+80^\circ \text{C}$. Ядро покрыто тонким почерневшим (альbedo 2–4%, ниже угля) слоем тугоплавкого вещества толщиной 1 см, защищая от нагрева его холодную снежно-ледяную сердцевину. Исследования показали, что испускаемые ядром газы почти на 80 % состоят из водяного пара, на 17% – из монооксида углерода (угарного газа) и на 3–4 % – из диоксида углерода (углекислого газа) со следами метана. Обнаружены сложные органические молекулы, представляющие собой смесь углеродно-водородно-кислородно-азотных соединений и силикатов. Зарегистрированы струйные газопылевые выбросы

Изображения ядра, комы и джетов кометы Галлея (во врезке – модель ядра). Снимки получены АМС "Вега-1" и "Джотто", Март 1986 г.



(джеты) из ядра на десятки тысяч километров; каждую секунду испарялись 30 т водяного пара. Таким образом, при пролете вблизи Солнца комета Галлея теряет путем испарения льда и выбросов пыли примерно 100 млн т вещества. Пыль представляет собой одну из разновидностей метеоритов – углистых хондритов. Температура поверхности испаряющегося “черного льда” варьируется в пределах – от 170 К (–103° С) при высоком альбедо, до 220 К (–53° С) – при низком; однако измерения АМС “Вега-1” показали, что температура поверхности кометы Галлея на самом деле находится в пределах 300–400 К (+30–130° С). Это свидетельствует о том, что активны только 10% поверхности ядра и что большая ее часть покрыта слоем темной пыли, которая поглощает тепло. Но, поскольку масса ядра огромна, то комета еще долго не разрушится.

Уникальные данные о комете Галлея, полученные межпланетными стан-

циями “Вега-1 и -2”, вызвали огромный резонанс в мире. В Падуе (Италия) прошла международная конференция, посвященная результатам исследований.

Хотя программа и завершилась, но пролетные аппараты АМС “Вега-1 и -2” продолжили полет по гелиоцентрической орбите, попутно исследуя метеорные потоки нескольких комет. Последний сеанс связи с “Вегой-1” проведен 30 января 1987 г., с “Вегой-2” – 24 марта 1987 г. Программа “Вега” вписала блестящую страницу в историю освоения космоса. Впервые была реализована масштабная программа, не имевшая прецедента в космических исследованиях.

Следующий перигелий комета Галлея пройдет 28 июля 2061 г. Возможно, тогда будут взяты пробы ядра кометы, что позволит раскрыть тайны происхождения комет и Солнечной системы.

С.А. ГЕРАСЮТИН

Информация

Черная дыра “поедает” звезду и испускает джеты

Международная команда астрономов во главе с ученым из Университета Джона Хопкинса (США) впервые стала свидетелем, как звезда “поглощается” сверхмассивной черной дырой в центре одной из галактик

(см. стр. 3 обложки, вверху). В течение нескольких месяцев наблюдалась звезда размером примерно с наше Солнце, которая отклонялась от своей обычной траектории, попадая в гравитационные “объятия” сверхмассивной черной дыры. Такие события – разрушение и поглощение звезды – крайне редки, причем они сопровождаются выбросом струи раскаленной плазмы (джета) конической формы со скоростью, близкой к световой. Механизм таких извержений до сих пор остается неясным –

скорее всего, их рождают сложные взаимодействия магнитных полей с аккрецирующей в черную дыру материей. Исследование проводилось в различных длинах волн, включая рентгеновский, радио- и оптический диапазоны. Ученым помогло то, что эта галактика располагается близко к Земле – на расстоянии всего лишь 300 млн св. лет от нас – по сравнению с другими, в которых пытались зафиксировать “поглощение” звезды черной дырой.

Пресс-релиз NASA,
26 ноября 2015 г.

Космическое происхождение жизни на Земле

О.С. ЦЫГАНКОВ,
доктор технических наук
РКК “Энергия” им. С.П. Королёва

Данная публикация продолжает обсуждение темы, затронутой в статье «Введение в эмпирическую экзобиологию: программа “Тест”» (Земля и Вселенная, 2014, № 6). Предлагается интерпретация результатов биогенных исследований, выполненных в 2010–2014 гг. на Международной космиче-

ской станции. Анализ доставленных на Землю проб с внешней поверхности станции привел к открытию верхней границы биосферы Земли, простирающейся до высоты 400 км. Автор излагает футурологические соображения и эвристические догадки в области эмпирической экзобиологии.

Затрагивает проблему опытного изучения гипотезы панспермии, выдвигает идею о земном источнике, активно рассеивающем жизнеспособные формы материи в межпланетное пространство, а также идею биологического канала связи с внеземной цивилизацией.

БИОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕКТОР ИССЛЕДОВАНИЙ НА МКС

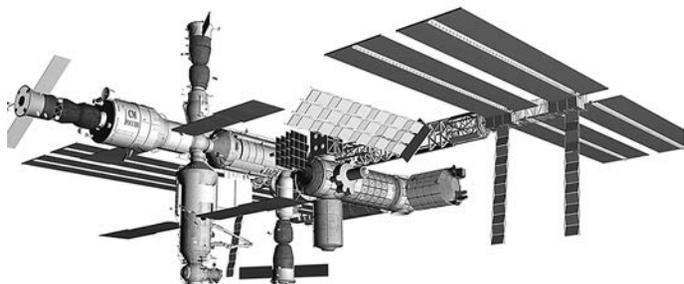
Программа эксперимента “Тест” предусматривала “экспериментальные исследования возможности развития микродеструкции¹ конструктивных элементов модулей российского сегмента МКС под влиянием составляющих собственной внешней

атмосферы и наличия условий для сохранения жизнедеятельности микрофлоры на поверхности гермокорпуса под ЭВТИ (экранны-вакуумная теплоизоляция)”. Задача эксперимента изначально заключалась в обследовании космонавтами внешней поверхности модулей станции для выявления следов коррозии, то есть имела

преимущественно инженерно-технологическую направленность. В дальнейшем смещение акцента на биологические исследования поверхности российского сегмента МКС вызван необходимостью и актуальностью обеспечения безопасности экипажа.

Комплекс работ по теме “Тест” выполнен группой специалистов: главный

¹ Деструкция (от лат. *destructio*) – разрушение, деградация конструкции.



специалист Е.В. Шубралола (ЦНИИМаш), кандидаты биологических наук Е.А. Дешева и Н.А. Поликарпов (ИМБП РАН), доктор биологических наук Т.В. Гребенникова (НИИ вирусологии), доктор физико-математических наук А.В. Сыроешкин (ИПГ им. Е.К. Фёдорова), доктор технических наук О.С. Цыганков (РКК "Энергия" им. С.П. Королёва) при поддержке руководителя полета российского сегмента МКС, заместителя генерального конструктора РКК "Энергия" им. С.П. Королёва члена-корреспондента РАН В.А. Соловьёва. В одном из телеинтервью он так охарактеризовал программу "Тест": *"У этого эксперимента большое будущее. И мы на пороге новых открытий"*.

На поверхности российского модуля "Звезда" были замечены пятна неизвестного происхождения, отличающиеся по цвету от ЭВТИ. Предпо-

ложительно это осадки агрессивных продуктов неполного сгорания двигателя топлива. Поскольку нельзя исключить случайный контакт с ними скафандра космонавта, работающего в открытом космосе, – есть вероятность того, что эти контаминации² могли попасть в атмосферу станции при шлюзовании. Понять природу и установить состав загрязнений, создать средства, исключающие их попадание в среду обитания экипажа, – веский довод для проведения систематического биомониторинга поверхности МКС. Планирование выхода в открытый космос включает в себя оценку опасностей в зоне работы космонавтов и их предотвращение. Специалисты по системам жизнеобеспечения обратились к постановщикам и исполнителям эксперимента "Тест" с предложением: наряду с плановой операцией, взять пробы-мазки вещества из заме-

ченных аномальных пятен.

Программа "Тест" выполнялась с помощью инструментов (патент RU2536746), обеспечивающих стерильность и гермоизоляцию образцов пыли, отобранных с внешней поверхности российского сегмента МКС. 15 ноября 2010 г. впервые в мире пробы вещества с наружной поверхности станции были отобраны и доставлены на Землю на космическом корабле "Союз". При анализе пробы, взятой из грязевого пятна в зоне расположения дренажного клапана системы "Воздух", совершенно неожиданно были найдены спорообразующие жизнеспособные бактерии вида *Bacillus Licheniformis*. В связи с этим можно обратиться к исторической аллюзии – открытию пенициллина Александром Флемингом, который не всегда мыл экспериментальную посуду, и однажды обнаружил в чашке Петри

² Контаминация (от лат. *contamination*) – загрязнение в результате соприкосновения, смешения.

Пробы бактерий, взятых в 2010–2014 гг. с наружной поверхности МКС

Дата взятия пробы	Типы бактерий	ДНК бактерий	Высокомолекулярные биогенные соединения
15.11.2010	Bacillus Licheniformis		
28.08.2013	Bacillus subtilis Bacillus spahaericus Bacillus saprophyticus	Delfia sp., Mykobacteria sp.	+
19.06.2014		Bacillus pumpilus	+
19.08.2014	Bacillus pumpilus		+
22.10.2014	Пробы анализируются		

плесень, уничтожившую бактерии.

В пробах, взятых с иллюминаторов модулей МКС “Звезда” и “Пирс”, для того, чтобы оценить характер их запыленности, находились ДНК бактерий, на 100% совпадающие с родом *Delfia sp.*, на 99% – с *Mykobacteria sp.* и со спорообразующими бактериями вида *Bacillus pumpilus*, которые идентифицированы при исследовании морского гетеротрофного бактериопланктона прибрежной зоны российской Западной Арктики в Баренцевом море и почв острова Мадагаскар.

В результате выполнения программы “Тест” открыта современная верхняя граница биосферы Земли – 400 км. Открытие живой материи в космическом пространстве актуализирует одну из кардинальных проблем современной науки и миропонимания – происхождение жизни

на Земле и ее связь с космосом.

Вопрос происхождения и эволюции живой материи, попытки ответить на него носят философско-мировоззренческий характер – особенно в наше время, когда предмет “астрономия” исключен из школьной программы и навязывается идея креационизма; вульгарно критикуется гипотеза эволюции, пропагандируемая как единственно истинное учение. Загадка происхождения жизни интересует широкие слои населения, их не удовлетворяет некий акт творения. На этом фоне сенсационно прозвучало 29 октября 2014 г. заявление папы Франциска I: *“...Бог не всемогущ, не волшебник, Бог создал мир и дал ему развиваться, эволюция не противоречит природе”*. Вспоминается высказывание К.Э. Циолковского: *“Надо создать научное определение Бога, если мы не хотим расстаться с этим словом”*.

Есть суждения, что физика сегодня подошла к той черте, когда приходится признавать наличие Создателя, всемогущего Творца, Вселенского разума или Сверхцивилизации. Естествознание стоит на фундаментальной основе – как антропном принципе, – одном из базовых утверждений современной космологии. Согласно ему, Вселенная удивительно приспособлена к существованию человека. Эта приспособленность выражается в очень тонкой пробиологической гармонии фундаментальных космических констант: в частности, скорости света, постоянной тяготения, массы элементарных частиц, постоянной Планка. Даже малые отклонения от их стандартных значений могли бы привести к изменению физических условий во Вселенной, на Земле, при которых возникновение жизни было бы принципиально невозможно. Не исключено, что при-



Переход российского космонавта в зону взятия проб бактерий на модуле МКС. Фото Роскосмоса.

дется принять устройство нашего мира как некий инженерный проект, как разумный подход к устройству Вселенной. Но и креационисты, и эволюционисты считают, что открытие жизни в космосе еще не несет информации о том, откуда она взялась. Эмпирически добытые и научно

объясненные факты будут наиболее убедительными.

ОХОТА НА КОСМИЧЕСКИХ “ПРИШЕЛЬЦЕВ”

При постановке задач, выборе средств и методов исследования данной проблемы необходимо учитывать современные представления о возникновении и распространении живой материи.

Проблема происхождения жизни во Вселенной, в частности – на Земле, стала научной

дисциплиной, включающей теоретический, операциональный³ и экспериментальный⁴ методы исследования по двум основным направлениям: абиогенез и панспермия. Предполагается, что между 4,6 и 3,8 млрд лет назад на Земле происходили два альтернативных процесса:

– химическая эволюция, приведшая к спонтанному зарождению жизни;

– появление жизни из зародышей, занесенных из космоса, которые по-

³ Операциональный метод – это исследование природных объектов в природных условиях с использованием систематического наблюдения, сравнения, измерения, подсчета.

⁴ Эксперимент – это исследования объектов и явлений в контролируемых и управляемых условиях постановочной задачи.

пали в благоприятные физические условия.

Импульсами для разработки гипотезы панспермии послужили многочисленные неудачные попытки выдающихся биологов обнаружить хотя бы один случай спонтанного зарождения жизни. Все старания исследователей, начиная с Л. Пастера, “создать жизнь из неживой материи”, оказались безуспешными. Мотивом работ Ф. Крика, известного защитника гипотезы направленной панспермии, послужили постоянные неудачи “химической эволюции”. Гипотезы абиотического происхождения жизни базируются на работах, выполненных еще в середине 1920-х гг. советским биологом и биохимиком А.И. Опариним. Поскольку в настоящее время нет экспериментальных доказательств в пользу абиогенеза, вполне допустимо сосредоточить внимание на гипотезе панспермии (Земля и Вселенная, 2015, № 1).

По данным космологии, возраст Вселенной – 13,7 млрд лет. Основываясь на существующих теоретических моделях, для образования водородно-гелиевых звезд первого поколения, синтеза внутри них тяжелых элементов, рассеяния и конденсации в звезды второго поколения с планетами достаточно 3 млрд лет. Сле-

довательно, начавшийся задолго до образования Земли период, когда стало возможным возникновение жизни, длится уже более 10 млрд лет.

Доминирование в биологии эволюционных теорий неизменно склоняло исследователей к поиску источников зарождения жизни на Земле. Между тем выдающийся русский натуралист и естествоиспытатель В.И. Вернадский доказал, что времени для направленного эволюционного развития жизни на Земле недостаточно даже по геологическим меркам. Действительно, жизнь на Земле возникла очень быстро, примерно через 100 млн лет после образования океанов. Это время удивительно мало по сравнению с тем, которое потребовалось для формирования многоклеточных организмов – около 3 млрд лет. Говоря словами В.И. Вернадского, “биосфера геологически вечна” (Земля и Вселенная, 1988, № 2). Это позволяет высказать парадоксальное, на первый взгляд, предположение о том, что жизнь никогда не возникала на Земле, так как нет фактов, что ее когда-то не было.

Идею “жизни из семян” высказал в V в. до н.э. Анаксагор. В 1865 г. гипотезу “космического посева” (“космозьев” – космических зачатков) опубликовал немецкий

врач и ученый Г. Рихтер. Странниками этой гипотезы были немецкий физик и физиолог Г. Гельмгольц и шведский физикохимик и физиолог С. Аррениус, лауреат Нобелевской премии. Такой путь происхождения жизни на планетах назван в 1908 г. панспермией. Уже тогда французский физик А. Беккерель отрицал возможность переноса зародышей в жизнеспособном состоянии (активном или подающемся активизации) из-за губительного действия коротковолнового УФ-излучения. Напротив, энтузиасты и сторонники “инфекционной теории” распространения жизни ищут ее подтверждение в следах палеовизитов, палеоконтактов, в наскальных рисунках ракет и космонавтов-инопланетян.

На всех континентах Земли есть наскальные рисунки, изображающие фигуры в скафандрах. Совпадение облика существ, облаченных в космические одежды, и в таких видах запечатленных в образной памяти землян, вряд ли является случайным. Возможно, пришельцы в разные исторические времена посещали нашу планету, но с одинаковой целью: контролировать процесс развития жизни, посеянной некогда ими на Праземле. Сейчас ученые ищут на Земле мик-

роорганизмы, существующие в экстремальных условиях обитания, обнаружение которых косвенно позволило бы проверить гипотезу панспермии.

Вероятность обнаружения микроорганизмов в экстремальных местах обитания заслуживает особого внимания с точки зрения поиска жизни и/или способности микроорганизмов-экстремофилов к всесторонней адаптации.

Космическая гипотеза происхождения жизни получила поддержку при изучении биологии вечной мерзлоты. Еще одна возможность расширить и обогатить исследования в области живого вещества – это подледные антарктические озера, в частности озеро Восток. Если жизнь на Марсе возникла, как и на Земле, 3,5 млрд лет назад, она может сохраниться в марсианской мерзлоте. В свете этого предположения важными становятся исследования живых клеток, микро- и нанобактерий, найденных, по-видимому, в метеорите в 1984 г. (Земля и Вселенная, 1997, № 1).

Наряду с поисками микроорганизмов-экстремофилов на поверхности Земли их ищут и в различных слоях земной атмосферы. Университет Вашингтона организовал наблюдения на высокогорных обсерваториях для изучения жизни

Изображение “космонавта” на скале в горной цепи Каракорум. Центральный Тибет.

микробов в атмосфере. Например, в тропосфере (10–18 км) обнаружены все основные разновидности микробов, обитающих в нижних слоях атмосферы. Работы Индийской организации космических исследований выполнены с помощью стратостата на высоте до 25 км. Среди 12 видов бактерий найдены три новых. Исследования в стратосфере (20–50 км) провел с использованием воздушных шаров Институт астробиологии NASA. Первое подтверждение присутствия жизни в стратосфере было получено в 2002 г. на высоте 20–41 км.

Предполагается, что “микроорганизмы-путешественники” были занесены на Землю метеоритами, с осколками комет или с частицами космической пыли. Но, если биообъекты оседают непосредственно на поверхности Земли, то отыскать их весьма проблематично. В этой ситуации не мог остаться без внимания ученых такой “сборник космической пыли”, как поверхность орбитальной станции. Космическая пыль оседает на поверхности станции во время полета по орбите



при ее маневрах, с потоками земной пыли. Исследование поверхности приземлившихся аппаратов малопродуктивно, так как при прохождении участков плазмы биологические микрообъекты неминуемо погибают, а космонавты могут брать пробы с внешней поверхности станции во время полета и возвращать их на Землю. МКС становится научным инструментом для исследования бактерий, живущих в экстремальных условиях: вакуум, высокий уровень радиации, огромные перепады температур. Бесспорное преимущество такого подхода в том, что пробы берут в реальных условиях эксплуатации станции.

СВИДЕТЕЛИ СУЩЕСТВОВАНИЯ ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Открытие жизнеспособных бактерий в космосе позволяет с оптимизмом относиться к гипотезе панспермии. Она предполагает, что “микроорганизмы-путе-



“Космонавт” в скафандре и шлеме со штырями антенн. Фреска. Плато Тассилин-Аджер, Сахара, Африка.

шественники” могут быть занесены на Землю случайно. Тогда вероятность появления жизни на Земле ничтожно мала. Для направленного эволюционного развития форм жизни – от образования планеты до технологической цивилизации, по примеру Земли – требуется 4 млрд лет. Следовательно, в Галактике много внеземных цивилизаций, по-видимому освоивших Галактику на 8 млрд лет ранее землян путем распространения зародышей жизни. Такие умозаключения вновь приводят к идее направленной управляемой панспермии.

Согласно гипотезе Ф. Крика и А. Оргела (Бюракан, 1971 г.), не ис-

ключено, что споры были доставлены на Землю на космическом аппарате в специальном, защитном контейнере. Внеземная цивилизация, которая осуществила бы эту акцию, не могла для своей цели выбрать, по мнению авторов гипотезы, ничего иного, кроме ДНК и РНК, содержащих генетический код. М.М. Агрест (1975), Г. Маркс (1978), а также Х. Еко и Т. Осимо (1979) отстаивают идею биологического канала информации, реализуемого посредством доставки зародышей на космических кораблях с огромным временем жизненного цикла. Лауреат Нобелевской премии, крупнейший биолог современности Ф. Крик,

расшифровавший строение ДНК и предложивший ее структурную модель в виде двойной спирали, выдвинул гипотезу: *“Если это не фантазия, то мыслящее существо Homo sapiens служит только орудием, упаковкой, неким космобусом для распространяющегося Истинного разума, скрывающегося в разумной и победоносной крупинке рибонуклеиновой кислоты. Это ДНК творит цивилизацию! Наше тело и наш разум вместе с их физическим и духовным “усилителями” – только орудия того Зародыша, занесенного, очевидно, несколько миллионов лет назад на нашу Землю, который имеет задачу овладеть нашей*



Вероятные изображения инопланетян, прилетавших на Землю: а) графство Инью, Калифорния; б) скалы в Валь-Камоника, Северная Италия; в) Скалистые горы, США.



“Великий бог марсиан”. Фреска из Джабера. Плато Тассилин-Аджер, Сахара, Африка.

Галактикой или нашей частью Вселенной. А в дальнейшем будущем – встреча с теми, кто его занес на нашу Землю. Но это только фантастическая гипотеза”. Человек сам может считаться продуктом эволюции космоса, космическим сообщением, доказывающим возможность разумной жизни в космосе, знаком существования вселенской ноосферы.

Несомненно, вместе с разумными существами на планетах соседствуют

и низшие формы жизни, о них мы сможем узнать от внеземной цивилизации при ее обнаружении или установлении хотя бы односторонней связи. В этом случае развитие обсуждаемой гипотезы можно представить следующим образом: внеземная цивилизация формирует такой канал транскоммуникации, который переносит живое вещество в виде спор, защищенных от внешнего воздействия. Это позволяет им совершать перелеты на космические расстояния без использования технических средств. Программа “Тест” – своего рода эмпирическая поддержка гипотезы панспермии. Соз-

данная инженерами РКК “Энергия” им. С.П. Королёва аппаратура позволяет опытным путем подтвердить эту гипотезу.

Можно вообразить, что микроорганизм-посланец создан антропоморфными обитателями Галактики в виде артефакта с помощью генной инженерии. В этом случае к искусственной молекуле ДНК можно добавить биологически неактивные сегменты, чтобы передать еще и разумное послание. При направленной панспермии микроорганизмы – посланцы внеземной цивилизации – могут иметь измененную форму цепочки ДНК. Расшифровать послание необходимо адресатам, жи-



Статуэтка догу. Национальный музей. Токио, Япония.

вущим на планете, куда оно отправляется, или тем разумным существам, которые возникают в результате биологической экспансии и эволюции.

В случае, если обнаружится биоканал связи, то откроется возможность использования биологического метода поиска в программах SETI (Search for Extra Terrestrial Intelligence) и CETI (Contact with Extra Terrestrial Intelligence).

Приверженцы программы SETI переоценивают уровень развития электроники, радио и телевидения. Необходимо видеть и другие решения проблемы SETI (кроме посылки и приема только электромагнитных импульсов в любом диапазоне). Вероятно, внеземные цивилизации используют другие средства связи, выгодно отличающиеся от электромагнитных волн. В этом случае обнаружение био-

логического или предбиологического объекта, идентифицируемого как живая материя, может рассматриваться в качестве “послания внеземной цивилизации”.

Искусственный, микроволновой сигнал дешифровать очень сложно. С одной стороны, он должен быть основан на природных закономерностях, иначе просто не будет замечен. С другой – должен отличаться от явлений естественного происхождения.

Критериями искусственности предположительно могут быть признаны: регулярность получения и достаточный объем, энергетическая полнота, монохромность на частоте излучения водорода, периодические амплитудные, частотные и фазовые манипуляции. Это направление подчеркивает недавняя инициатива Стивена Хокинга о возобновлении массового анализа астрофизической информации, получаемой ведущими обсерваториями мира. Для расшифровки биологических посылок ни теоретических разработок, ни практических методов пока нет. Например, для частного случая программы “Тест” таким признаком может служить комплексность: когда в одной пробе присутствуют три биообъекта, два из которых идентифицированы как известные, а третий остается непо-

знанным. Найденные в пробах с МКС неизвестные биообъекты могут быть галактическими посланцами и содержать информацию от внеземной цивилизации, направленную по биологическому каналу связи.

ФУТУРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРОГРАММЫ “ТЕСТ”

Впервые в эксперименте “Тест” собраны пробы космической пыли, их гермоизолировали в вакууме и доставили в наземные лаборатории для исследований. Многопараметрический анализ образцов по верифицированным методикам профильных дисциплин принес неординарные результаты: вне Земли в открытом космосе найдены жизнеспособные споры микроорганизмов, ДНК, высокомолекулярные биогенные соединения. Таким образом, граница биосферы расширена “вверх” до 400 км от Земли. Геохимический состав пыли соответствует смешанному тропосферному аэрозолю. Это – косвенное подтверждение восходящей ветви глобальной электрической цепи, своего рода “ионосферного лифта”. Автор приходит к заключению: Земля сама может быть источником распространения живой материи в космическом пространстве.



“Космонавт” в скафандре. Серебряная копия из коллекции автора. Скифский курган, степной Крым. Фото А. Цыганковой.

Существование жизни в космосе – это, по утверждению автора, уже не гипотеза, а эмпирическое обобщение фактов. Определение генезиса найденных в космосе микроорганизмов – актуальная научная задача. Для того, чтобы устра-

нить неопределенность в происхождении микроорганизмов, автор предлагает решить обратную задачу: живые организмы земного происхождения доставить на МКС, экспонировать их в защищенном виде в открытом космосе и вернуть



на Землю для исследования. Если земные биообъекты сохраняют жизнеспособность – значит ранее обнаруженные микробы могли иметь земное происхождение. Если они погибли – значит, ранее обнаруженные в жизнеспособном состоянии биообъекты могли быть космическими пришельцами.

Более отдаленная, но перспективная задача –

выполнить аналогичные программы “Тест” исследования за пределами радиационных поясов Земли. Например, можно поискать живое вещество в окрестностях точек либрации L_4 и L_5 в системе Земля – Луна, так как, скорее всего, в этой области накапливается пыль. Проблемы механизма рассеивания микроорганизмов из биосферы Земли

Исследование космической пыли в лаборатории.

в космическое пространство и существования внеземных биосфер на экзоплантах – важнейшие для современного естествознания. Они могут быть решены в результате исследований, например, на МКС.

Иркутский планетарий

С.А. ЯЗЕВ,

доктор физико-математических наук
научный руководитель Иркутского планетария,
директор Астрономической обсерватории ИГУ

Д.В. СЕМЁНОВ,

исполнительный директор ООО “Планетарий”

В феврале 2015 г. в Иркутске начал работу новый Планетарий. Это событие продолжило непростую историю, которая началась 65 лет назад.

ВОСЬМОЙ В СТРАНЕ

4 марта 1950 г. в Иркутске открыл свои двери для посетителей первый в Сибири, на Дальнем Востоке и восьмой в Советском Союзе планетарий. Как и многие другие советские планетарии, он был размещен в здании Троицкой церкви, построенной в середине XVIII в. в стиле “сибирского барокко”. Купол Иркутского планетария имел диаметр 8 м.

В Планетарии использовались поочередно три аппарата. В 1950 г. использовался “Упрощенный планетарий” (“УП-3”). Он представлял собой картонную сферу с дву-

мя тысячами тончайших проколов. Внутри сферы располагалась лампа с точечной нитью. Свет лампы, проходя через крошечные отверстия на сфере, имитировал Звёздное небо на матерчатом куполе. Этот аппарат был изготовлен специально для Иркутска в экспериментально-механических мастерских Московского планетария.

Во время наводнения 1953 г. Ангара вышла из берегов и несколько улиц затопило, пострадал пульт управления аппаратом, но затем все оборудование удалось восстановить.

В 1955 г. были установлены проекторы, позволявшие демонстрировать линии на небесной сфере – экватор, эклиптику, небесный меридиан, начальный круг склонений. Вдоль горизонта был смонтирован контур

из узнаваемых зданий города. В течение ряда лет сформировалась большая библиотека диапозитивов, их число превысило тысячу. В середине 1950-х гг. Иркутский планетарий оказался в стране в числе лучших по оснащённости.

В 1960 г. на замену аппарату “УП-3” был приобретен более совершенный – “УП-4”. Специально для Иркутска был изготовлен проектор с картой “Иркутского меридиана”. Зрители могли “путешествовать” вдоль 105 меридиана восточной долготы. Аппарат “УП-4” функционирует до сих пор: сейчас он установлен в кабинете астрономии Педагогического института Иркутского государственного университета.

В 1967 г. на смену московским аппаратам пришел немецкий “Малый Цейс”. Со слов одного из



бывших директоров Планетария Г.А. Удовиченко, для Волгоградского планетария, построенного в 1954 г., ГДР поставила “Большой Цейс” и несколько аппаратов “Малый Цейс”. Один из них попал в Иркутск. По другой версии, несколько “Малых Цейсов” для стационарных планетариев СССР были изготовлены в 1967 г., специально к 50-летию Октября. “Малый Цейс” работал в комплекте с примерно тридцатью проекторами, способными показывать Луну и ее фазы, движение Солнца, метеоры, кометы, облака и другие эффекты.

Множество жителей Иркутской области с ностальгией вспоминают сеансы в старом Иркутском планетарии. Здесь работали замечательные лекторы – Г.Г. Люшин, В.Я. и Г.Я. Цепурит, С.В. Филиппов, А.В. Селезнёв. Лекции читали астрономы А.А. Каверин, В.И. Курышев, К.С. Мансурова. По самым скромным оценкам, лекторов за все время существования Планетария услышали не менее 3 млн человек.

К сожалению, практически “вечной” проблемой Планетария было недостаточное финансирование. Здание старинной

Троицкая церковь в Иркутске. В 1950–1989 гг. здесь размещался Планетарий. Фото Ю. Гетанова.

церкви требовало капитального ремонта, выглядело оно неприглядно. Планетарий принадлежал областной организации общества “Знание”, которому он был в тягость. В 1980-е гг. состояние оборудования и здания становились критическими, усиливалась текучка кадров, сменяли друг друга далекие от астрономии директоры. В 1986 г. Планетарий



У входа в старый планетарий. 1950-е гг. Фото из архива Астрономической обсерватории ИГУ.

закружили на капитальный ремонт. Решение иркутского горисполкома о строительстве нового планетария так и осталось невыполненным.

БОРЬБА ЗА СОХРАНЕНИЕ ПЛАНЕТАРИЯ

В конце 1980-х гг. стало ясно, что закрытый на ремонт Планетарий может не открыться. В иркутских газетах выступала в его защиту педагог и журналист, руководитель детского астрономического кружка Е.С. Шерстова. Включилась в борьбу директор астрономической обсерватории ИГУ К.С. Мансурова, но ее тяжелая

болезнь и преждевременная кончина в 1990 г. не позволили активно повлиять на события. О необходимости восстановления Планетария говорили многие иркутские ученые и общественные деятели. Но время для этого оказалось неподходящим: дефицитные бюджеты области и города не позволяли планировать такие работы.

Е.С. Шерстова и ее супруг, механик и электрик



С.П. Шерстов по сути спасли аппарат “Малый Цейс”. Они добились передачи в начале 1989 г. аппарата областной станции юных техников. За два года С.П. Шерстов восстановил аппарат (позднее к работам подключился руководитель иркутского астрономического клуба Э.Г. Зуев). Но установить аппарат было негде: здание Троицкой церкви возвратили епархии.

В 1990–2010 гг. энтузиасты предложили восемь различных проектов восстановления Планетария. Предлагали местным властям разные варианты создания нового Планетария Э.Г. Зуев, директор детского Кос-

моцентра Е.С. Шерстова, сотрудник Института солнечно-земной физики Сибирского отделения РАН (ИСЗФ), а затем директор астрономической обсерватории ИГУ С.А. Язев, сотрудник обсерватории Д.В. Семёнов, руководитель музея занимательной науки “Иркутский экспериментарий” К.Л. Кравченко. Все проекты, за исключением одного, сводились к переоборудованию уже существовавших строений. Архив содержит множество писем, адресованных губернаторам, мэрам и руководителям образования области и города. Ответственные лица в регионе менялись, но проблема не решалась.

Аппарат “УП-4”. Справа – лектор Планетария доцент А.А. Дворкина-Самарская. Педагогический институт ИГУ. Фото Д. Дмитриева.

лась. Для частично демонтированного аппарата “Малый Цейс” в музее “Иркутский экспериментарий” при поддержке ИСЗФ был сооружен купол диаметром 4 м. Этот маленький планетарий работает до сих пор, но он не соответствует современным требованиям.

ДЕВЯТЫЙ ПРОЕКТ

Оказался реализованным только девятый проект, разработанный



Проект комплекса нового Планетария, архитектор Е.А. Григорьева. Слева – купол Планетария, справа вверху – купол обсерватории.



Здание Иркутского планетария. Фото С.А. Язева.



На церемонии открытия нового Планетария 20 февраля 2015 г. В центре – исполнительный директор Планетария Д.В. Семёнов и губернатор Иркутской области С.В. Ерошченко. Фото А. Шудыкина.

в Иркутске. В августе 2010 г. состоялась четвертая в новом веке экспедиция на Патомский кратер (Земля и Вселенная, 2007, № 1), в которой участвовали, помимо ученых, Председатель Совета Федерации Федерального Собрания РФ С.М. Миронов и будущий депутат Госдумы, основатель группы компаний “Метрополь” М.В. Слипенчук. Участник всех современных экспедиций на Патомский кратер Д.В. Семёнов рассказал последнему о проблеме, М.В. Слипенчук ею заинтересовался. В сентябре 2010 г. на одной из

площадок Байкальского экономического форума состоялась пресс-конференция, в которой приняли участие М.В. Слипенчук, Д.В. Семёнов и руководитель представительства группы компаний “Метрополь” в Иркутске профессор М.И. Щадов. Приняли решение построить комплекс “Ноосфера”, включавшие обсерваторию, музей и Планетарий. М.В. Слипенчук обещал, что “Метрополь” выступит в роли инвестора проекта на условиях частно-государственного партнерства.

К середине 2011 г. были завершены проектно-сметные работы, через год построено здание. Проекционный купол диаметром 9,14 м обошелся в 400 тыс. евро. Он выполнен из перфорированного алюминия, отклонение от сферы не превышает трех миллиметров. Те, кто побывал в Звёздном зале нового Планетария, рассчитанного на 45 мест, отмечают его отличную акустику. Проекционное оборудование закупалось по конкурсу, в котором участвовали мировые производители – “Zeiss”, “Konica”,

“Minolta” и “Barco”. Конкурс выиграла бельгийская фирма “Barco”, систему из двух проекторов собирали под контролем компании “Ави-Лаб” – представителя “Barco” в России.

Группа компаний “Метрополь” полностью выполнила обещание. В четырехэтажном здании на первом этаже разместилась рекреация планетария и кафе. Звёздный зал расположен в цокольном этаже рядом со зданием, и верхняя часть купола “выступает” над землей выше уровня второго этажа. На четвертом этаже расположен офис Планетария и обсерватория, где уста-

новлен предоставленный Иркутским государственным университетом исторический 5-дюймовый рефрактор Цейса (Земля и Вселенная, 2002, № 6), изготовленный для Иркутска в 1909 г. В этом же здании находятся рестораны и офисные помещения “Метрополя”.

ПЕРВЫЕ ШАГИ

20 февраля 2015 г. открылся новый Иркутский планетарий. В церемонии открытия приняли участие депутат Госдумы, основатель группы компаний “Метрополь”, доктор экономических наук М.В. Слипенчук; губернатор Иркутской области

С.В. Ерощенко; председатель Думы г. Иркутска Д.В. Бердников, представители общественности города и журналисты.

В рекреации Планетария за первые полгода работы сменились две экспозиции; в сентябре 2015 г. развернута уникальная выставка метеоритов из коллекции московского Музея истории мироздания. В Звёздном зале демонстрировались семь полнокупольных фильмов, затем лектор рассказывал о звездном небе над Иркутском, о планетах, положении Луны и созвездиях. Такие экскурсии по звездному небу проводят кандидат физи-



Пресс-конференция на открытии Планетария. Генеральный директор Планетария доктор технических наук И.М. Щадов; депутат Госдумы доктор экономических наук М.В. Слипенчук и научный руководитель Планетария доктор физико-математических наук С.А. Язев. Фото А. Головщикова.



В рекреации Планетария. Губернатор Иркутской области С.В. Ерощенко, председатель Думы г. Иркутска Д.В. Бердников, генеральный директор комплекса "Ноосфера" М.И. Щадов, исполнительный директор Планетария Д.В. Семёнов. Фото А. Головщикова.



У фрагмента Сихотэ-Алинского метеорита. Научный руководитель Планетария С.А. Язев, генеральный директор комплекса "Ноосфера" М.И. Щадов и губернатор Иркутской области С.В. Ерощенко. Фото А. Головщикова.



Новый губернатор Иркутской области С.Г. Левченко и руководитель обсерватории Планетария у 5-дюймового телескопа-рефрактора Цейса. Фото Д. Семёнова.



Звёздный зал Иркутского планетария. Фото А. Головщикова.

ко-математических наук А.А. Дворкина-Самарская, кандидат технических наук С.А. Чупраков, А.Н.Арсентьев, С.В. Граблевский, Г.А. Захаров, Е.Д. Скареднева. В обсерватории можно увидеть по вечерам объекты звездного неба, а днем – солнечные пятна и протуберанцы. У телескопа обсерватории работают П.Г. Никифоров и Е.Д. Скареднева. Проводятся авторские лекции научного руководителя Планетария доктора физико-математических наук С.А. Язева. В мае 2015 г. прошел вечер

“тротуарной” астрономии: с помощью 10 телескопов на четырех площадках жители любовались небесными объектами. Сотрудники организовали в окрестности Иркутска выездные наблюдения для желающих.

За первые полгода работы в мероприятиях, организованных Планетарием, приняли участие более 20 тыс. человек; в гостях побывали монгольский космонавт Ж. Гуррагча и уроженец Иркутска, летчик-космонавт России А.А. Иванишин.

У сотрудников Планетария (большинство из

них, в том числе волонтеры, – в прошлом члены и воспитанники астрономического клуба, которым в 1989–2005 гг. руководил автор первого проекта восстановления Планетария Э.Г. Зув) большие планы по его развитию. Коллектив старается, чтобы в Планетарии можно было получить современную корректную научную информацию, без антинаучных сенсаций. Новый Иркутский планетарий становится важным элементом культурной сферы Прибайкалья.

НЕБЕСНЫЙ КАЛЕНДАРЬ: май–июнь 2016 г.

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ

Дата	Время, ч	Событие
Май		
6	3	Луна в перигее
6	19	Новолуние
9	15	Меркурий в нижнем соединении с Солнцем
9	23	Юпитер переходит от попятного движения к прямому
13	17	Луна в первой четверти
15	8	Луна проходит в 2° южнее Юпитера
18	22	Луна в апогее
21	21	Полнолуние
21	21	Меркурий переходит от попятного движения к прямому
21	22	Луна проходит в 5° севернее Марса
22	11	Марс вступает в противостояние с Солнцем
22	22	Луна проходит в 2° севернее Сатурна
29	12	Луна в последней четверти
Июнь		
3	6	Сатурн в противостоянии с Солнцем
3	10	Луна в перигее
4	19	<i>Покрытие Луной звезды Альдебаран (α Тельца)</i>
5	3	Новолуние
5	10	Меркурий в наибольшей западной элонгации (24°)
6	21	Венера в верхнем соединении с Солнцем
11	18	Луна проходит в 2° южнее Юпитера
12	8	Луна в первой четверти
14	8	Нептун переходит от прямого движения к попятному
15	12	Луна в апогее
19	1	Луна проходит в 2° севернее Сатурна
20	10	Полнолуние
20	22	Летнее солнцестояние
27	18	Луна в последней четверти
30	8	Марс переходит от попятного движения к прямому

Примечание. Во всех таблицах и в тексте дано Всемирное время (UT), кроме особо оговоренных случаев.

ЭФЕМЕРИДА СОЛНЦА

Дата	α		δ		45°		55°		65°	
					восход	заход	восход	заход	восход	заход
	ч	м	°	'	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м	ч : м
Май 1	02	34	15	04	04:50	19:08	04:20	19:38	03:26	20:33
11	03	12	17	53	04:36	19:20	04:00	19:57	02:49	21:07
21	03	52	20	11	04:25	19:32	03:43	20:14	02:14	21:43
31	04	32	21	55	04:18	19:42	03:30	20:29	01:41	22:18
Июнь 10	05	14	23	00	04:14	19:49	03:23	20:40	01:13	22:49
20	05	55	23	26	04:14	19:53	03:21	20:46	01:01	23:06
30	06	37	23	10	04:17	19:54	03:26	20:46	01:13	22:58

Примечание. В таблице дано среднее солнечное время.

Пример. Определить время захода Солнца 7 мая 2016 г. в Санкт-Петербурге (широта – 59° 57', долгота – 2^ч 01^м, 2-я часовая зона – московское время UT + 3^ч). Пользуясь Таблицей II, интерполируем по широте значение времени восхода Солнца на 7 мая, получаем 20^ч 15^м. Вычтем из него долготу места, прибавим 3^ч, получим 21^ч 14^м.

Таблица III

ЭФЕМЕРИДЫ ПЛАНЕТ

Дата	α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости	
	ч	м	°	'				45°	55°	65°		
Меркурий												
Май 1	03	20,8	+20	34	3,0	10,7	0,07	–	–	–		
11	03	04,2	+16	49	6,4	12,0	0,00	–	–	–		
21	02	50,6	+13	17	2,6	11,1	0,10	–	–	–		
31	03	01,6	+13	13	0,9	9,2	0,28	–	–	–		
Июнь 10	03	37,6	+16	12	0,1	7,4	0,47	–	–	–		
20	04	36,8	+20	30	–0,6	6,0	0,70	–	–	–		
30	05	59,3	+23	48	–1,5	5,2	0,94	–	–	–		
Венера												
Май 1	01	57,2	+10	39	–3,9	9,9	0,99	–	–	–		
11	02	44,6	+14	53	–3,9	9,8	0,99	–	–	–		
21	03	33,7	+18	31	–3,9	9,7	1,00	–	–	–		
31	04	24,6	+21	21	–4,0	9,7	1,00	–	–	–		

Таблица III (окончание)

Дата	α		δ		m	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости	
	ч	м	°	'				"	45°	55°		65°
Июнь	10	05	17,2	+23	11	-4,0	9,7	1,00	-	-	-	
	20	06	10,7	+23	55	-3,9	9,7	1,00	-	-	-	
	30	07	04,4	+23	28	-3,9	9,8	0,99	-	-	-	
Марс												
Май	1	16	22,9	-21	39	-1,5	16,1	0,98	7,4	6,1	2,8	Ночь
	11	16	12,8	-21	44	-1,8	17,4	0,99	7,9	6,4	2,4	Ночь
	21	15	59,0	-21	38	-2,0	18,3	1,00	8,1	6,4	1,5	Ночь
	31	15	43,9	-21	23	-2,0	18,6	1,00	7,8	6,0	-	Ночь
Июнь	10	15	30,7	-21	06	-1,8	18,3	0,98	7,0	5,2	-	Ночь
	20	15	22,0	-20	56	-1,6	17,5	0,96	6,1	4,4	-	Ночь
	30	15	18,9	-21	00	-1,4	16,4	0,94	5,4	3,7	-	Вечер
Юпитер												
Май	1	11	00,0	+07	55	-2,1	40,8	0,99	8,0	7,8	6,6	Вечер
	11	10	59,5	+07	55	-2,0	39,6	0,99	7,2	6,8	5,3	Вечер
	21	11	00,2	+07	49	-2,0	38,5	0,99	6,3	5,9	3,9	Вечер
	31	11	02,0	+07	36	-1,9	37,3	0,99	5,5	4,9	2,3	Вечер
Июнь	10	11	04,8	+07	16	-1,8	36,3	0,99	4,7	4,1	-	Вечер
	20	11	08,5	+06	51	-1,8	35,2	0,99	4,0	3,3	-	Вечер
	30	11	13,0	+06	21	-1,7	34,3	0,99	3,3	2,5	-	Вечер
Сатурн												
Май	1	16	56,3	-20	49	0,2	18,2	1,00	6,5	5,1	0,8	Ночь
	11	16	53,7	-20	44	0,1	18,3	1,00	7,0	5,4	-	Ночь
	21	16	50,9	-20	40	0,1	18,4	1,00	7,3	5,3	-	Ночь
	31	16	47,8	-20	35	0,0	18,5	1,00	7,3	5,1	-	Ночь
Июнь	10	16	44,6	-20	30	0,0	18,5	1,00	7,1	4,7	-	Ночь
	20	16	41,6	-20	25	0,1	18,4	1,00	6,8	4,4	-	Ночь
	30	16	38,8	-20	21	0,1	18,3	1,00	6,3	4,1	-	Ночь

Примечание. Координаты даны на момент 0^ч по Всемирному времени. F – фаза планеты.

ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

Меркурий и **Венера** в мае – июне не видимы.

Марс перемещается по созвездию Скорпиона, 22 мая находится в противостоянии с Солнцем, 28 мая – в созвездии Девы, 30 июня переходит от попятного движения к прямому. Усло-

вия наблюдения Марса в это время наилучшие, хотя он находится невысоко над горизонтом. В северных широтах России продолжительность его видимости в начале мая – 2,8 ч, 21 мая уменьшается до 1,5 ч, и он пропадает с небосвода. На средних и южных шירו-

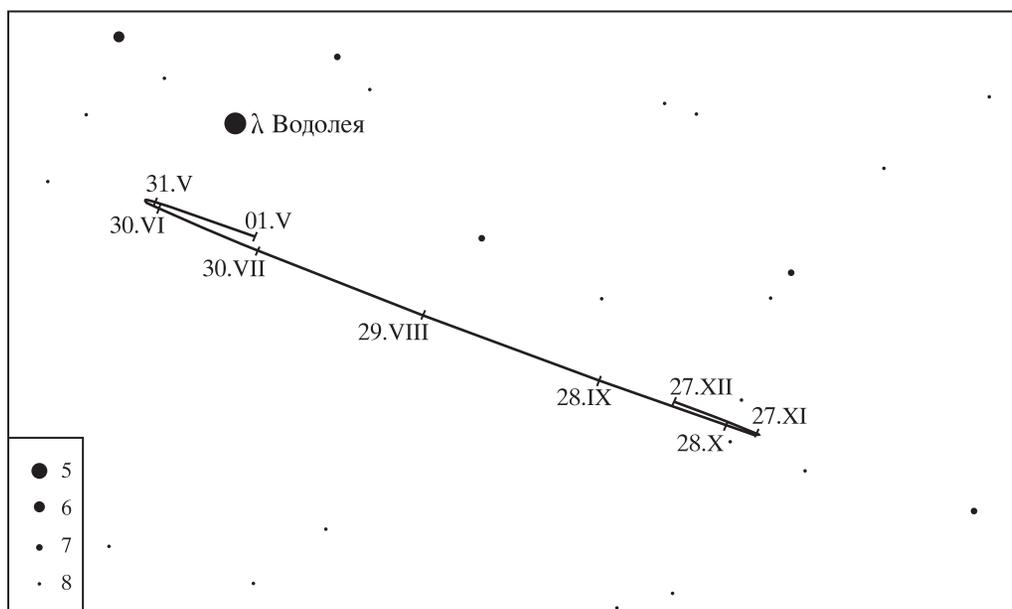
тах нашей страны продолжительность нахождения Марса на небе уменьшается с 6,1–7,4 ч в начале мая до 3,7–5,4 ч в конце июня. Видимый угловой диаметр планеты в противостоянии немного больше 18", блеск $-2,0^m$ и немного снижается в июне. Луна пройдет недалеко от Марса 21 мая и 17 июня.

Юпитер в мае – июне перемещается по созвездию Льва, его можно заметить в вечернее время. 9 мая планета-гигант переходит от попятного движения к прямому. Продолжительность видимости Юпитера постепенно сокращается: на северных широтах России с 6,6 ч в начале мая и пропадает в лучах вечерней зари в начале июня, в средних и южных широтах с 7,8–8,0 ч в начале мая до 2,5–3,3 ч в конце июня. Видимый угловой диаметр Юпитера уменьшается с 40,8" до 34,3", блеск – с $-2,1^m$ до $-1,7^m$. Луна пройдет недалеко от Юпитера 15 мая и 11 июня.

Сатурн движется по созвездию Змееносца и заметен в средних и юж-

ных широтах нашей страны в ночное время в южной стороне горизонта; в северных широтах его можно увидеть непродолжительное время в самом начале мая. Противостояние с Солнцем произойдет 3 июня. Продолжительность видимости Сатурна постепенно уменьшается в средних широтах страны с 5,1–5,4 ч в начале мая до 4,1 ч в конце июня, а в южных широтах сначала немного увеличивается с 6,5 ч в начале мая до 7,3 ч 21 мая и затем уменьшается до 6,3 ч в конце июня. Видимый угловой диаметр планеты-гиганта – 18,2–18,5", блеск немного ниже $0,0^m$. Луна пройдет недалеко от Сатурна 22 мая и 19 июня.

Нептун можно наблюдать в телескоп или крупный бинокль. Он находится в созвездии Водолея недалеко от звезды λ Водолея ($3,9^m$). 14 июня Нептун переходит от прямого движения к попятному. 2 сентября произойдет его противостояние с Солнцем, 20 ноября он переходит от попятного движения к прямому.



Видимый путь Нептуна на небесной сфере в мае – декабре 2016 г.

ЭФЕМЕРИДЫ НЕПТУНА 2016 г.

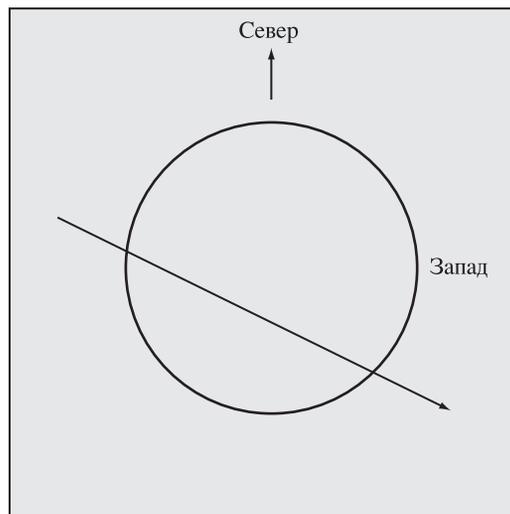
Дата		α		δ		m	d
		ч	м	°	'		"
Май	1	22	52,2	-08	05	7,9	2,4
	31	22	54,0	-07	55	7,9	2,4
Июнь	30	22	53,9	-07	57	7,9	2,5
Июль	30	22	52,2	-08	08	7,8	2,5
Август	29	22	49,4	-09	26	7,8	2,5
Сентябрь	28	22	46,4	-09	44	7,8	2,5
Октябрь	28	22	44,3	-09	57	7,9	2,5
Ноябрь	27	22	43,8	-09	59	7,9	2,4
Декабрь	27	22	45,2	-09	50	7,9	2,4

ПРОХОЖДЕНИЕ МЕРКУРИЯ ПО ДИСКУ СОЛНЦА

9 мая 2016 г. на территории России можно будет наблюдать редкое астрономическое явление – прохождение Меркурия по диску Солнца. Оно может произойти только в том случае, если планета окажется между Солнцем и Землей в один из двух коротких периодов в начале мая или в начале но-

ября. Причем, майские прохождения Меркурия, которые лучше всего видны в Северном полушарии Земли, наблюдаются реже ноябрьских. Последние подобные явления отмечены 7 мая 2003 г. и 8 ноября 2006 г.

Полностью прохождение Меркурия по диску Солнца 9 мая 2016 г. будет



Прохождение Меркурия по диску Солнца 9 мая 2016 г.

видно в западной части Европы и Африки, на востоке Северной Америки и в Южной Америке, а также к северу от полярного круга.

“Вступление” Меркурия на диск Солнца видно в западных и централь-

ных районах нашей страны. В Мурманске можно увидеть полностью прохождение Меркурия по диску Солнца. В Петропавловске-на-Камчатке можно наблюдать только “сход” Меркурия с диска Солнца.

Таблица V

ОБСТОЯТЕЛЬСТВА ПРОХОЖДЕНИЯ МЕРКУРИЯ ПО ДИСКУ СОЛНЦА

Явление	Время	
	ч	м
Первое касание дисков Солнца и Меркурия	11	12
Полное вступление Меркурия на диск Солнца	11	15
Середина прохождения Меркурия	14	58
Начало схода Меркурия с диска Солнца	18	39
Последнее касание дисков Солнца и Меркурия	18	42

*В.И. ШИВЬЁВ
г. Железнодорожный
(Московская область)*

Информация

Гравитационно линзированное галактическое скопление

Сто лет назад А. Эйнштейн опубликовал свою Общую теорию относительности. Ее ключевым выводом стало то, что материя способна деформировать пространство-время. Этот эффект назван “гравитационным линзированием”. Исследования одного из таких объектов – SDSS J103842.59+484917.7 (SDSS J1038+4849), нахо-

дящегося в 4,5 млрд св. лет от нас в Большой Медведице, названного “Чеширский Кот”, проводились в ноябре 2015 г. с помощью космической обсерватории “Чандра” (см. стр. 1 обложки). Это скопление отдаленных галактик, свет от них искажен гигантской массой вещества, большая часть которой существует в форме темной материи. Основная масса сосредоточена вокруг трех гигантских галактик, формирующих “глаза” и “нос”. Многократно повторенные дуги образуют “лицо” – результат гравитационного линзирования четырех различных галактик, расположенных еще дальше тех, которые создали “глаза”. Галактики этой системы и гравитационно линзированные дуги впервые

сфотографированы 10 февраля 2015 г. КТХ.

Две самые яркие галактики в виде “глаз” несутся навстречу друг другу со скоростью более 500 тыс. км/ч. Левый “глаз” группы содержит сверхмассивную черную дыру, активно поглощающую материю. По расчетам, через миллиард лет два “глаза” скопления “Чеширский Кот” сольются, в результате чего образуется гигантская эллиптическая галактика и десятки намного меньших. Возможно, тогда этот гравитационно линзированный объект можно будет назвать скоплением “Циклоп”.

Пресс-релиз
Гарвард-Смитсоновского
центра астрофизики,
23 ноября 2015 г.

46-я основная экспедиция на МКС

11 декабря 2015 г. спускаемый аппарат КК “Союз ТМА-17М” с экипажем 44/45-й основной экспедиции (МКС-44/45; Земля и Вселенная, 2015, № 6, с. 106–107); командир корабля О.Д. Кононенко (Россия), бортинженер К. Юи (Япония) и командир МКС-45 Ч. Линдгрэн (США) благополучно приземлился в 121 км северо-восточнее г. Джезказган (Казахстан). В течение 141 сут 16 ч 09 мин экипаж МКС-44/45 выполнил программу научно-прикладных исследований и более 50 экспериментов на МКС, поддерживал работоспособность станции и дооснащал ее оборудованием, доставленным грузовыми кораблями.

15 декабря 2015 г. с космодрома Байконур стартовала РН “Союз-ФГ” с КК “Союз ТМА-19М”. На его борту был экипаж 46/47-й основной экспедиции на МКС: командир корабля Ю.И. Маленченко (Россия), бортинженер-1 Т. Пик (ЕСА, Великобритания) и бортинженер-2 Т. Копра (США). Через 6 ч 21 мин успешно осуществлена стыковка в автоматическом режиме с модулем “Рассвет” (МИМ-1). Этот экипаж будет работать в течение 171 сут – до 5 июня 2016 г. (см. стр. 3 обложки, внизу). Для Ю.И. Ма-

ленченко это – шестой полет, для Т. Копры – второй, Т. Пик совершает первый полет.

Юрий Иванович Маленченко (308-й астронавт мира, 78-й космонавт России) родился 22 декабря 1961 г. в Светловодске Кировоградской области на Украине. В 1979 г. окончил Харьковский институт радиоэлектроники. В 1983 г. с отличием окончил Харьковское высшее военное авиационное училище летчиков им. С.И. Грицевца. До 1987 г. служил в Одесском военном округе, был командиром звена истребительного полка в Молдавии. В 1987 г. зачислен в отряд космонавтов ЦПК им. Ю.А. Гагарина. В 1993 г. окончил заочное отделение Военно-воздушной инженерной академии им. Н.Е. Жуковского, полковник в запасе. В 1998 – 1999 гг. в Космическом центре им. Л. Джонсона готовился к полету на кораблях “Спейс Шаттл”. Совершил четыре космических полета общей длительностью 641 сут 11 ч 11 мин: 1 июля – 4 ноября 1994 г. в качестве командира экипажа 16-й основной экспедиции на станции “Мир”, 8–20 сентября 2000 г. в качестве специалиста полета на КК “Атлантис” (STS –106) по программе МКС, 26 апреля – 28 октября 2003 г. в качестве командира “Союза ТМА-2” и МКС-7, 10 октября 2007 г. – 19 апреля 2008 г. в качестве командира корабля “Союз ТМА-11” и бортинженера экспедиции МКС-16; 15 июля – 18 ноября 2012 г. в качестве командира корабля “Союз ТМА-05М”

и бортинженера экспедиции МКС-32/33. Выполнил пять выходов в открытый космос общей длительностью 30 ч 07 мин. Герой России, награжден орденами “За заслуги перед Отечеством” 3-й и 4-й степени, медалями.

Тимоти Пик (Timothy N. Peake; 543-й астронавт мира, 2-й астронавт Великобритании) родился в 1972 г. в г. Чичестер в графстве Западный Суссекс (Великобритания). В 1992 г. окончил Военное училище сухопутных войск в Сэндхарст, в 2005 г. – Имперскую школу летчиков-испытателей и получил квалификацию летчика-испытателя, в 2006 г. – Университет Портсмута и получил степень бакалавра наук в области динамики полета. В 1992–1994 гг. служил командиром вертолетного взвода в пехотном полку корпуса армейской авиации, в 1994–1998 гг. был командиром авиазвена в Германии, Македонии, Северной Ирландии, Кении и Канаде; принимал участие в боевых операциях в Боснии и Афганистане. В 2002–2009 гг. служил в вертолетной испытательной эскадрилье, в 2009 г. работал летчиком-испытателем в британско-итальянской компании “Augusta Westland”, майор. Освоил 30 типов самолетов, налетал более 3 тыс ч. В 2010 г. зачислен в отряд астронавтов ESA.

Тимоти Копра (Timothy L. Copra; 499-й астронавт мира, 321-й астронавт США) родился в 1963 г. в г. Остин (штат Техас). В 1985 г. окончил Военную академию в Вест-Пойнте, полу-

чил степень бакалавра, в 1995 г. – степень магистра по аэрокосмическому машиностроению в Технологическом институте штата Джорджия. В августе 1986 г. служил в США и Германии командиром взвода, старшим помощником командира части, заместителем командира воздушно-десантной эскадрильи, командиром группы ударных вертолетов. После окончания школы летчиков-испытателей ВМФ был направлен на службу в технико-испытательный центр Армии США, где он работал летчиком-испытателем по различным программам; полковник армии США в отставке. В 1998–2000 гг. работал в космическом центре им. Л. Джонсона в качестве инженера-испытателя, занимался тестированием программного обеспечения

МКС и участвовал в операциях по обслуживанию КК “Спейс Шаттл”. В 2000 г. зачислен в отряд астронавтов NASA. Совершил 15 июля – 11 сентября 2009 г. полет общей длительностью 58 сут 02 ч 50 мин в качестве специалиста полета КК “Индевор” и бортинженера МКС-20. Выполнил выход в открытый космос продолжительностью 5 ч 32 мин.

В программу МКС-46/47 включены прием КК “Союз ТМА-20М”, “Прогресс МС-01 и -30М”, американских “Сигнус-5” и “Дрегон-9”, два выхода в открытый космос, выполнение 62 экспериментов по девяти направлениям: 19 из них – человек в космосе, 17 – технологии освоения космоса (новый “Реставрация”), по 7 – исследование Земли из космоса и космическая биология и биотехнология, 5 – эксперименты NASA в рамках го-

довой программы, по 3 – образование и популяризация космических исследований и материаловедение, по 1 – физико-химические исследования и контрактные работы.

После 16 декабря 2015 г. на борту МКС работала 46/47-я основная экспедиция: М.Б. Корниенко, С.А. Волков, Ю.И. Маленченко (Россия), С. Келли, Т. Копра (США) и Т. Пик (ESA, Великобритания). В феврале 2016 г. С.А. Волков вместе с Ю.И. Маленченко выходил в открытый космос по российской программе (ВКД-42) из модуля “Пирс”. Приземление С.А. Волкова вместе с участниками годовой экспедиции М.Б. Корниенко и С. Келли (США) планируется 3 марта 2016 г. на КК “Союза ТМА-18М”.

По материалам
Роскосмоса, ЦУП-М
и NASA

Успешная посадка ракеты

Частной американской аэрокосмической компанией “Blue Origin”, владелец – основатель и генеральный директор Интернет-ритейлера Amazon.com Джефф Безос (состояние, по оценке Forbes, – 59,4 млрд долларов), успешно проведена 23 ноября 2015 г. контролируемая вертикальная посадка многоразовой одноступенчатой ракеты BE-3, снабженной ЖРД тягой 50 тс. Она вывела на высоту 100 км беспилотную капсулу КК “Новый Шепард” (“New Shepard”), названного так в честь американского астронавта Алана Шепарда, совершившего первый суборбитальный полет 5 мая 1961 г. на КК “Меркурий-3” (“Фридом-7”). Эта система предназначена для космического туризма. Герметичная капсула “Новый Шепард” вмещает 6 человек, она снабжена системой аварийного спасения, отделяется от ракеты на высоте около 40 км в течение 110 с и продолжает подъем. Ее полет продолжался примерно 16 минут (в том числе на 4 мин возникла невесомость). Спуск капсулы проводился с помощью парашютов, ракета воспользовалась маршевыми дви-

гателями мягкой посадки и села на опоры. Корабль и ракета многоразового использования разрабатывались с 2006 г., запуски проводятся с собственного космодрома “Blue Origin” в штате Техас. В ходе предыдущих попыток капсула корабля “Новый Шепард” успешно возвращалась на Землю (29 апреля 2015 г. капсула достигла высоты 112 км), однако BE-3 приземлилась безаварийно впервые.

Разработку аналогичной системы сейчас ведет и другая частная аэрокосмическая компания “Спейс-Х” (“Space-X”) Илона Маска (№ 34 в рейтинге 400 богатейших американцев-2015, по версии Forbes, состояние – 12,6 млрд долларов). Однако все тестовые пуски ракет “Спейс-Х” пока завершались неудачно. Ранее, в 1993–1996 гг., состоялись испытательные полеты беспилотного прототипа многоразового корабля “Дельта Клипер” (“Delta Clipper”, DC-X) грузоподъемностью 10 т, разработанного фирмой “Макдоннелл-Дуглас”. Проект предусматривал баллистическую схему полета с вертикальными стартом и посадкой, используя тормозной двигатель и четыре опоры. Носитель “Дельта Клипер” стартовой массой 600 т должен был находиться на околоземной орбите в течение 7–14 сут, при дозаправке в космосе – использоваться в качестве межорбитального буксира в полетах на геостацио-



Мягкая посадка многоразовой одноступенчатой ракеты BE-3. Испытательный полигон в штате Техас. 23 ноября 2015 г. Фото компании “Blue Origin”.

нарную орбиту или на Луну (Земля и Вселенная, 1994, № 5, с. 47–48). Последние испытания оказались неудачными: 7 июля 1995 г. аппарат при посадке получил повреждение, 8 июня 1996 г. треснул бак с топливом, вспыхнул пожар, поэтому NASA посчитало восстановление аппарата нецелесообразным и программу закрыли.

По материалам Интернет-сайтов, 25 ноября 2015 г.

Причина потери воды на Марсе

Геофизики объяснили механизм потери Марсом плотной атмосферы. По мнению ученых, 3,8 млрд лет назад на Марсе был достаточно влажный и теплый климат для поддержания существования водоемов. Этому способствовала, в частности, плотная атмосфера с преобладаем углекислого газа (двуокиси углерода), сейчас – на 95%. Углерод из атмосферы мог уйти двумя путями: быть поглощенным корой или улетучиться в космическое пространство. Наблюдения ИСМ “Марсианский орбитальный разведчик” и марсохода “Кьюриосити” не подтвердили первую гипотезу, поскольку в верхних слоях коры не обнаружено следов избыточного содержания легкого углерода. Отношение содержания изотопов углерода-12 и углерода-13 показало аномально высокое количество тяжелого углерода в атмосфере планеты. Специалисты предположили, что легкие изотопы могли попасть в космос, что и подтвердилось.

В далеком прошлом на Марсе существовал круговорот углерода, аналогичный земному. Первоначально углекислый газ заключался в мантии планеты, при извержении вулканов попал в ее атмосферу. Полярные шапки Марса содержат в основ-

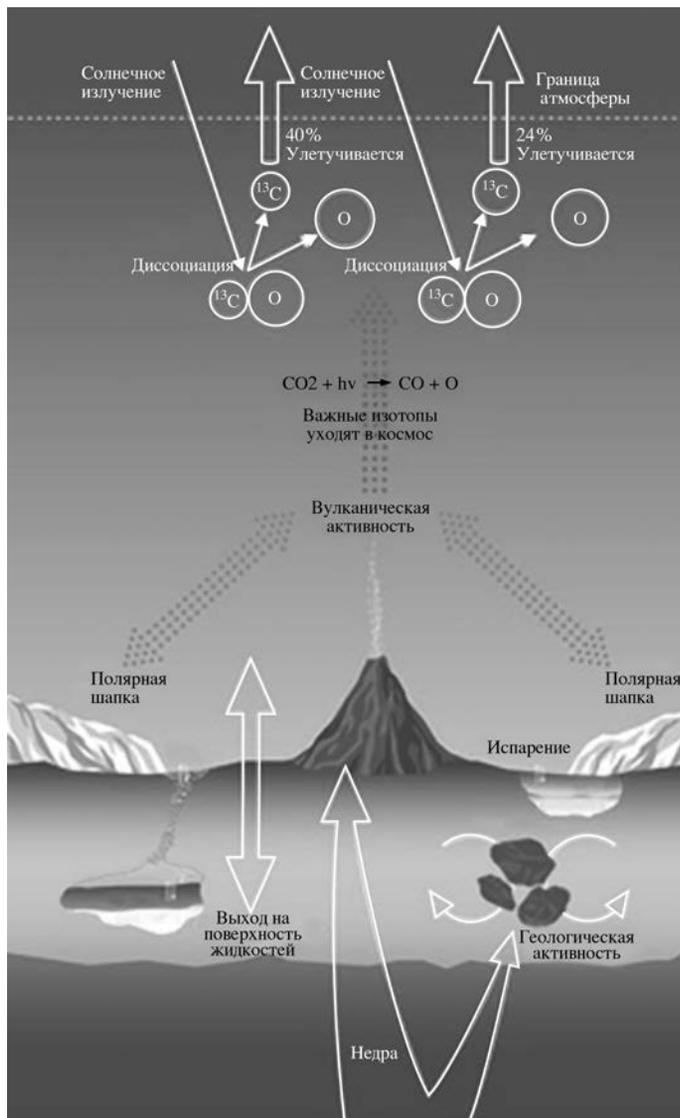


Схема уноса атмосферы с марсианской поверхности в космос. Рисунок NASA.

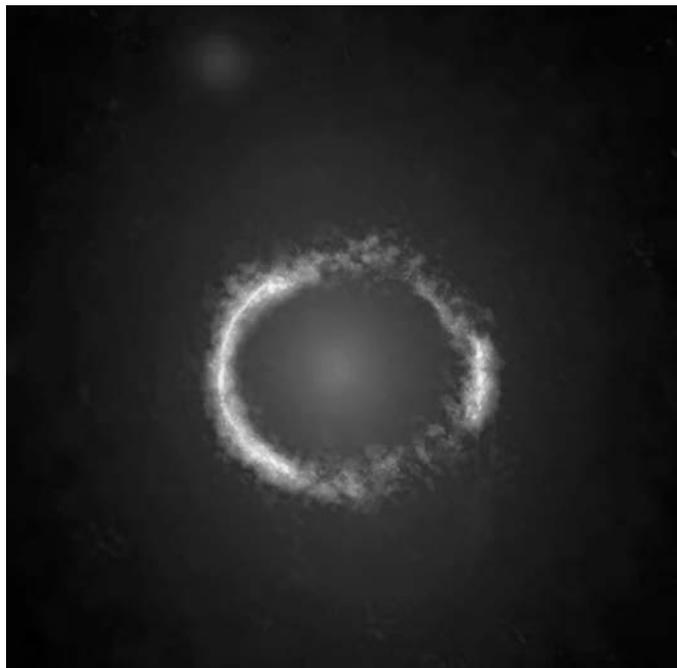
ном сухой лед, который сублимируется в газ в летние месяцы. Углекислый газ мог растворяться в воде, которая затем выпадала в виде осадков и попадала на сушу или в водоемы. Между тем, с течением времени значительное количество легко-

го углерода ушло в космос. Произошло это, как полагают ученые, благодаря фотодиссоциации – химической реакции, приводящей к распаду под действием электромагнитного излучения.

Пресс-релиз NASA,
30 ноября 2015 г.

Почти идеальное кольцо Эйнштейна

Астрономы с помощью КТХ, космической обсерватории “Гершель” и международной радиоастрономической обсерватории ALMA (большая миллиметровая/субмиллиметровая решетка) в Чили обнаружили галактику SDP.81 с активной областью звездообразования, расположенную на расстоянии 11,7 млрд св. лет от нас в созвездии Гидры. Она сформировалась в первый миллиард лет после Большого взрыва и гравитационно линзирована массивной галактикой переднего плана, которая находится намного ближе к нам, на расстоянии 4 млрд св. лет от Солнца. Свет более далекой галактики SDP.81 сформировался в виде огненного кольца из-за этого эффекта. Его предсказал А. Эйнштейн в Общей теории относительности. Результат восстановления изображения с использованием сложных моделей увеличения и гравитационной линзы, показал тонкие структуры внутри кольца: несколько пылевых облаков в пределах галактики. Вероятнее всего, это – гигантские холодные молекулярные облака размером около



Гравитационно линзированная галактика SDP.81 в созвездии Гидры. Яркий центральный регион представляет собой свечение пыли, ее окружают пятна – газовые облака с монооксидом углерода (угарный газ). Массивная галактика переднего плана искажает свет от SDP.81 в форме кольца Эйнштейна. Изображение получено в октябре 2014 г. с помощью КТХ, обсерваторий “Гершель” и ALMA (NRAO). Фото NASA/ESA.

200 св. лет, где рождаются звезды и планеты. Темп звездообразования там в тысячу раз больше, чем темп активных зон в любом регионе нашей Галактики. Изображение SDP.81 получено в октябре 2014 г. в рамках программы наблюдений протопланетного диска HL Тау, астероида Юно-

на, звезды Миры и квазара 3C138 с помощью интерферометрической базы радиотелескопов длиной 15 км. На комплексе ALMA удалось получить поразительное максимальное разрешение – 23 мс (!).

Пресс-релиз NASA,
ALMA (NRAO), ESO
13 июня 2015 г.

“Кеплер” : разрушенная планета у белого карлика

В первый год работы по продленной программе “К2” (2014 г.) космическая обсерватория “Кеплер” обнаружила транзитным методом 234 потенциальных кандидата в экзопланеты (Земля и Вселенная, 2014, № 5). Например, удалось получить убедительное доказательство разрушения спутника размером с астероид Церера (око-

ло 500 км), вращающегося на расстоянии 840 тыс. км (чуть больше удвоенного расстояния от Земли до Луны) за 4,5 земных часа вокруг белого карлика WD 1145+017 в созвездии Дева на расстоянии 570 св. лет от нас. Впервые наблюдалась крохотная планета с таким коротким орбитальным периодом, испытывающая сильнейший нагрев. Она разорвана гравитационными силами родительской звезды, ее окружает кольцо осколков. Такой вывод сделан, когда было выявлено необычное распределение изменения интенсивности излучения от белого кар-

лика. Проанализировав несколько транзитов, удалось установить, что это событие не было похоже на стандартное: интенсивность излучения падала и затем точно так же восстанавливалась. Обнаружено присутствие тяжелых элементов (кальций, кремний, магний и железо), сосредоточенных в области вокруг WD 1145+017. Некоторые звезды этого класса обладают атмосферами, загрязненными тяжелыми элементами от планеты, разорванной ее гравитацией.

Пресс-релиз NASA,
23 октября 2015 г.

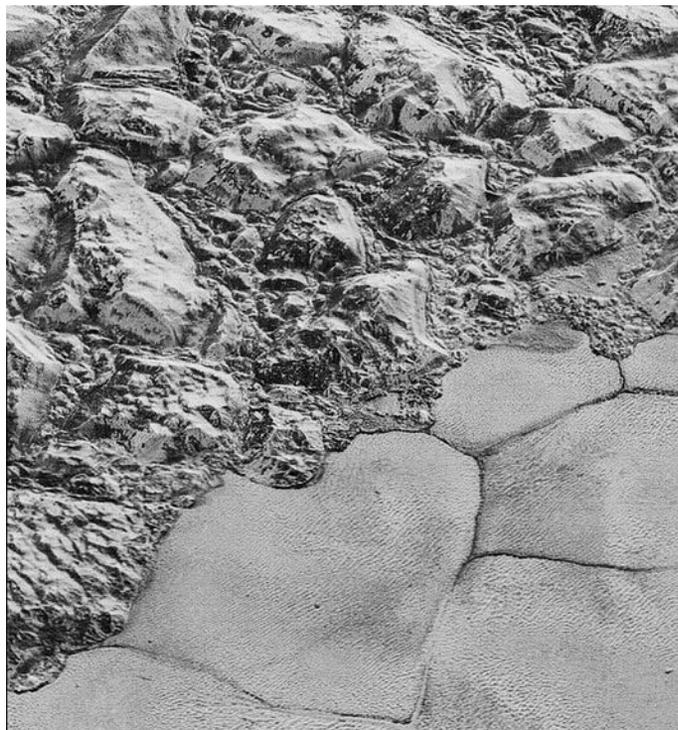


Так художник представляет разрушающуюся экзопланету у белого карлика WD 1145+017. Рисунки М. Гарлик, NASA.

“Новые горизонты”: снимки Плутона

В декабре 2015 г. АМС “Новые горизонты” (“New Horizons”) передала новые данные и детальные фотографии (разрешение 77–85 м), полученные при пролете около Плутона 14 июля 2015 г. (Земля и Вселенная, 2015, № 6, с. 94–98; 2016, № 1). Снимки сделаны камерой высокого разрешения LORRI и мультиспектральной камерой MVIC за 15 мин до максимального сближения станции с Плутоном на расстоянии около 17 тыс. км от него. Качество полученных снимков в шесть раз выше, чем изображений, использованных ранее для составления глобальной карты Плутона, и в пять раз лучше, чем фотографии спутника Нептуна Тритона. В NASA создают трехмерную карту карликовой планеты Солнечной системы. На основе полученных данных удалось сделать 50 открытий: например, на Плутоне есть два потухших криовулкана. Ученые синтезировали изображение Плутона в искусственных цветах, чтобы выявить элементный состав грунта его различных регионов (см. стр. 2 обложки, внизу). Обработка снимка выполнена в Подразделении планетарных наук (Division for Planetary Sciences, DPS) NASA.

Чем подробнее и качественнее становятся снимки Плутона, тем больше удивления они вызывают. На одном из снимков запечат-



Гористая береговая линия равнины Спутника (Sputnik Planum) на Плутоне. Большие каменно-ледяные блоки коры стиснуты между собой в горах аль-Идриси, их окружает материал в виде щебня. Снимок размером 80 км (разрешение – 85 м) передан 4 декабря 2015 г. АМС “Новые горизонты”. Фото JPL/NASA.

лен очень гладкий участок равнины Спутника (Sputnik Planum) шириной около 210 км, полностью лишенной ударных кратеров, что говорит о ее геологической молодости. По-видимому, равнина покрыта замороженными газами, скорее всего – азотом; испещрена многочисленными ямами корытообразной формы шириной в сотни и глубиной в десятки метров. Гористая береговая линия равнины Спутника обнажает большие каменные блоки коры планеты, которые кажутся сбитыми в кучу в горах аль-Идриси (неофициально на-

званными в честь арабского географа Мухаммада аль-Идриси). Новые детали выявили нагромождения щебня около горных хребтов, их окружают огромные ледяные блоки, ранее перемещавшиеся, а сейчас – утонувшие в коре Плутона.

На другом снимке самого высокого разрешения крупным планом выделяются на ледяной равнине кратеры, покрытые широкими отложениями – террасами, что подтверждает слоистое строение коры Плутона. Самые древние участки поверхности имеют возраст, близкий к 4 млрд лет.



Склоны ударных кратеров одного из равнинных районов Плутона покрывают террасы – широкие горизонтальные плоские слои породы. Изображение самого высокого разрешения передано 4 декабря 2015 г. АМС “Новые горизонты”. Фото JPL/NASA.

Вместе с тем, на Плуtone есть и очень молодые области, чей возраст не превышает 10 млн лет (например,

равнина Спутника). Другие участки имеют промежуточный возраст: вероятно, Плутон сохранял геологическую

Информация

Поиски гравитационных волн

Через 100 лет с момента появления первого предположения о существовании гравитационных волн, выдвинутого А. Эйнштейном в рамках его Общей теории относительности, их поиск в течение 11 лет закончился неудачей. С этой целью группа астрономов во главе с доктором Райаном Шэнноном (CSIRO и Международный центр радиоастрономических исследований) использовали высокоточный телескоп “Парк” госу-

дарственного объединения научных и прикладных исследований (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO) Австралии. Гравитационные волны остаются единственным неподтвержденным прогнозом, сделанным в рамках этой теории. В поисках волн научная команда проводила слежение за миллисекундными пульсарами. Эти крохотные остатки звезд испускают потоки регулярных радиоимпульсов и могут быть использованы в качестве “космических часов”. Ученые регистрировали времена прибытия сигналов, идущих от пульсаров, с точностью до десяти миллиардных долей секунды. Когда грави-

активность на протяжении всей своей истории. Всего на поверхности Плутона было обнаружено более тысячи ударных кратеров различных размеров и степеней эрозии.

АМС “Новые горизонты” получила первые снимки одного из объектов в поясе Койпера за орбитой Плутона – крупного астероида неправильной формы 1994 JR1 диаметром 127 км, удаленного от Солнца на 5,5 млрд км и на 280 млн км от Плутона, открытого в 1994 г. Эти фотографии примерно в 15 раз четче, чем сделанные с помощью КТХ и других космических обсерваторий. В октябре и в начале ноября 2015 г. станция произвела серию из четырех циклов разгона и маневров, которые позволят ей встретиться в январе 2019 г. с транснептуновым телом 2014 MU69.

Пресс-релиз NASA,
4 декабря 2015 г.

тационная волна проходит между Землей и пульсаром, она, “сжимая” и “растягивая” пространство, изменяет расстояние между этими объектами примерно на 10 м. Это изменение оказывает влияние на времена прибытия к Земле импульсов, идущих от пульсара.

Почему же гравитационные волны до сих пор не обнаружены? Ученые склоняются к следующему: основной причиной является то, что черные дыры “объединяются” слишком быстро, поэтому излучение гравитационных волн происходит мгновенно.

Журнал “Science”,
25 сентября 2015 г.

Проект “Мунспайк”

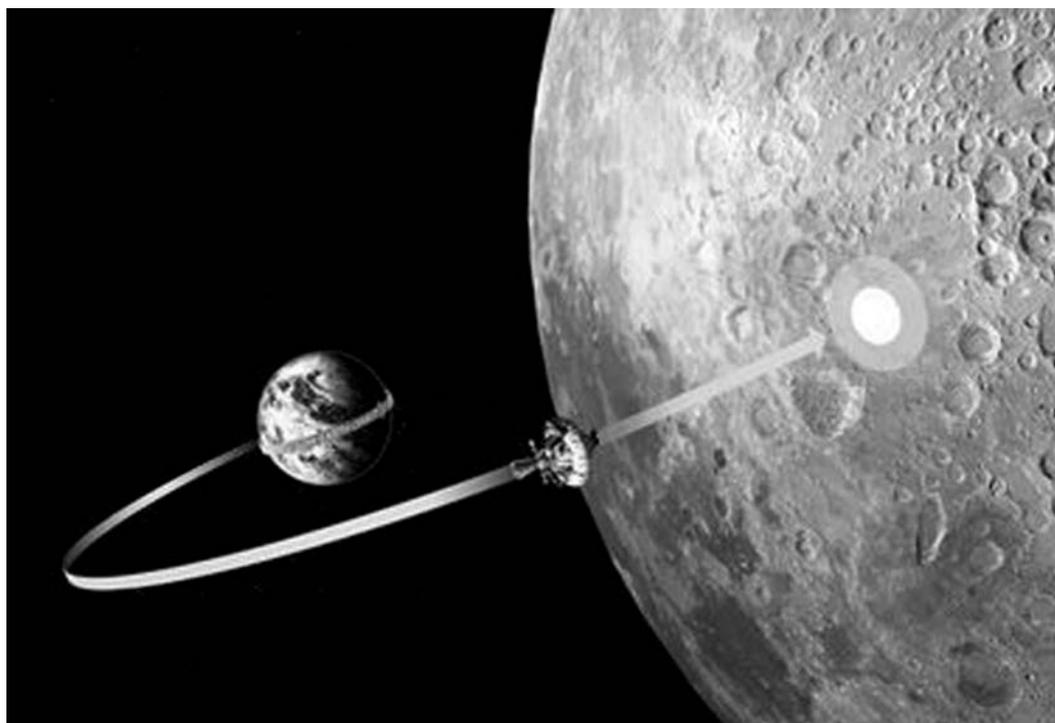
1 октября 2015 г. группа американских специалистов по ракетной технике начала кампанию по сбору пожертвований в надежде собрать 1 млн долларов на проект “Мунспайк” (“Moonspike” – лунная игла). Цель проекта – запуск с помощью двухступенчатой ракеты-носителя на жидком топливе массой 22 т космического аппарата с фотографиями и видео-

информацией массой 150 кг и доставка его на поверхность Луны. При столкновении с лунной поверхностью поднимется шлейф пыли, ее состав может исследовать АМС “Лунный орбитальный разведчик”.

Над проектом работает команда из семи человек, еще четверо опытных предпринимателей входят в совет директоров. По словам одного из организаторов – Криса Лармура, задача проекта состоит в том, чтобы проверить: может ли небольшая группа инженеров построить ракету для полета на Луну и запустить полезный груз, имея в своем

распоряжении ограниченное финансирование? *“Если мы получим поддержку, то приступим к более детальной разработке, которая станет следующим этапом, и довольно быстро начнем строительство отдельных компонентов”*, – заявил К. Лармур. Если это довольно амбициозное начинание увенчается успехом, то команда планирует использовать полученные деньги для разработки оборудования, чтобы в дальнейшем полностью реализовать проект.

По материалам
Интернет-сайтов,
1 октября 2015 г.



Рекламный плакат проекта “Мунспайк”.

Взаимодействующая галактика

Галактика 2MASX J16270254+4328340 в созвездии Геркулеса в 613 млн св. лет от нас – яркий пример сливающихся объектов в активной фазе. Сегодня эта галактика имеет голубой оттенок из-за свечения множества молодых звезд, появившихся после столкновения. С течением времени галактика 2MASX J16270254+4328340 начнет приобретать красный оттенок, поскольку запасы газа, из которого появляются юные звезды, были уничтожены в момент столкновения; процесс их рождения практически прекратился. Исходя из этого, можно утверждать, что галактика



Галактика 2MASX J16270254+4328340 в созвездии Геркулеса. Изображение получено в ноябре 2015 г. КТХ. Фото NASA.

2MASX J16270254+4328340 постепенно умирает. Снимок этого события получил КТХ. Благодаря этому мы можем наблюдать, как взаимодействуют галактики в виде длинных хвостов. Ученым удалось установить, что гравитационное взаимо-

действие галактик соответствует времени окончания активной фазы звездообразования – все звезды в 2MASX J16270254+4328340 лежат на последней стадии эволюции.

Пресс-релиз КТХ,
24 ноября 2015 г.

“Кассини”: Энцелад крупным планом

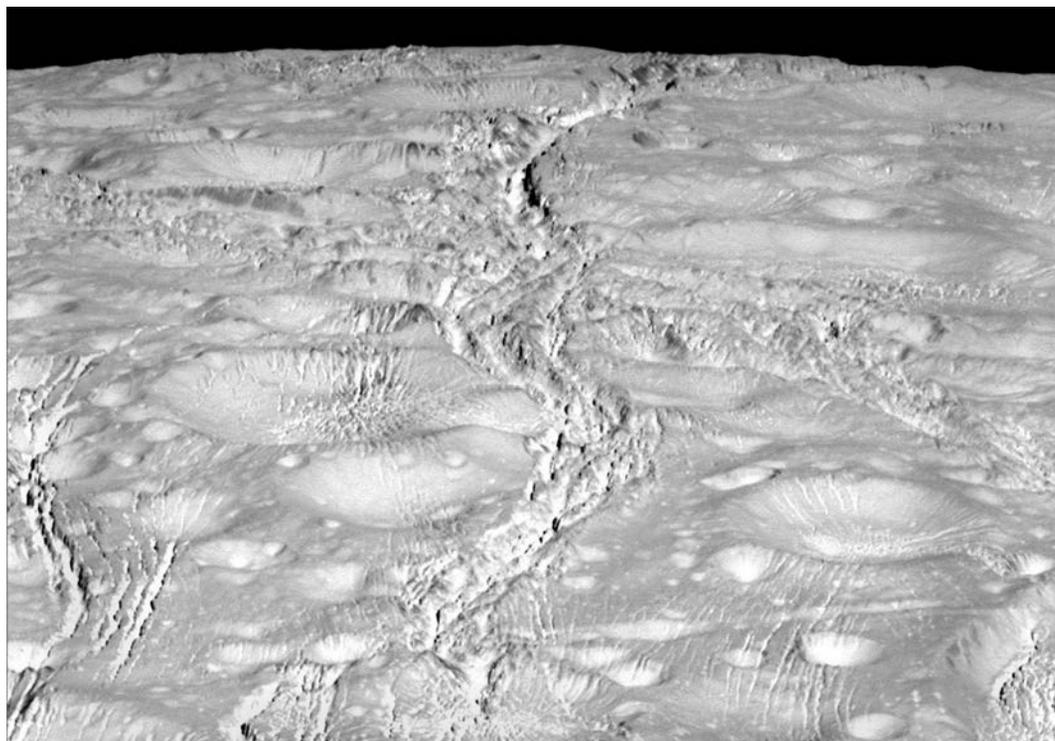
14 октября 2015 г. АМС “Кассини” выполнила 37-й близкий пролет (на расстоянии 1839 км) от спутника Сатурна Энцелада (496,6 × 502,8 × 513,2 км). Всего с 17 февраля 2005 г. осуществ-

лено 39 сближений со спутником, причем 21-е на кратчайшем расстоянии (самое наименьшее – 25 км – 9 октября 2009 г.); последнее состоялось 19 декабря 2015 г.

Структура поверхности на Северном полюсе Энцелада оказалась неожиданно сложной. Эта область характеризуется высоким обилием кратеров. На новых снимках обнаружен сложный узор из трещин и разломов. Ландшафт с глубокими каньонами (“тигровые полосы”) и гейзерами ранее был обнаружен на более низких широтах около Южного полюса (Земля и

Вселенная, 2007, № 4, с. 83; 2012, № 6, с. 25–26; 2015, № 1, с. 38–39). Разломы могут свидетельствовать о возможном водоеме под ледяной поверхностью (как и на спутниках Юпитера Европе и Ганимеде). Ледяные гейзеры выбрасывают на высоту сотен километров водяной пар и частицы пыли. Одной из задач будущих полетов автоматических станций, вероятно, станут поиски признаков жизни под ледяной коркой Энцелада.

Пресс-релиз NASA,
15 октября 2015 г.



Энцелад. Видны кратеры и длинные разломы. Снимок сделан 14 октября 2015 г. АМС “Кассини” с расстояния 1839 км от спутника Сатурна. Фото NASA.

Комета Каталина

Зимние ясные ночи особенно привлекательны обилием ярких звезд и созвездий. Но главным небесным объектом ноября – декабря 2015 г. стала самая яркая (6^m) комета Каталина (C/2013 US10 Catalina) с размером комы 20 км, которая перемещалась в этот период по созвездиям Девы и Волопаса (см. стр. 2 обложки, вверху). Она была доступна

для наблюдений на утреннем небе у юго-восточного горизонта даже невооруженным глазом. 15 ноября 2015 г. Каталина прошла перигелий на расстоянии 0,82 а.е. Скорость Каталины во время сближения с Солнцем достигала 44,4 км/с, при этом она теряла 3 т вещества в секунду. 8 декабря на небе она сблизилась с Венерой и тонким серпом Луны, 31 декабря – со звездой Арктур в созвездии Волопаса, 17 января 2016 г. пролетела мимо Земли на расстоянии 0,72 а.е. (108 млн км).

Комета открыта 31 октября 2013 г. в Тусонской обсерватории (штат Аризона, США) в рамках исследовательского проекта “Каталина”, направленного на

поиск малых тел Солнечной системы. Проект стал одним из наиболее плодотворных – в 2005–2008 гг. обнаружено 1700 новых объектов. Среди них наиболее опасным считается астероид 2006 JY26, так как в 2073 г. он может упасть на Землю. Наблюдения проводились в обсерватории ISON в России и гавайской системой телескопов Pan-STARRS. Афелий кометы (точку максимального отдаления от Солнца) астрономы не смогли определить ввиду ее происхождения – она прилетела из Облака Оорта (0,5–1 св. год) и поэтому вряд ли у нее постоянная орбита.

По материалам
Интернет-сайтов

Дорогие читатели!

*Напоминаем, что подписаться на журнал
“Земля и Вселенная” вы можете с любого
номера по Объединенному каталогу
“Пресса России”*

(I полугодие 2016 г.) во всех отделениях связи.

*Подписаться можно и по Интернету,
воспользовавшись каталогом журналов
на сайте “Почта России”.*

Подписной индекс – 70336.

Заведующая редакцией Л.В. Рябцева

Зав. отделом космонавтики и геофизики С.А. Герасютин

Художественные редакторы О.Н. Никитина, М.С. Вьюшина

Оператор ПК Н.Н. Токарева

Корректоры А.Б. Васильев, Р.В. Молоканова, Т.И. Шеповалова

Обложку оформила О.Н. Никитина

Сдано в набор 11.11.2015. Подписано в печать 26.02.2016. Дата выхода в свет 13.03.2016

Формат 70 × 100^{1/16} Цифровая печать

Уч.-изд.л. 12,3 Усл. печ.л. 9,1 Усл.кр.-отг. 2,5 тыс. Бум.л. 3,5

Тираж 263

Зак. 1004

Цена свободная

Учредители: Российская академия наук, Президиум

Издатель: ФГУП «Академиздатцентр «Наука»

117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

Адрес редакции: 119049, Москва, Мароновский пер., 26

Телефоны: (499) 238-42-32, 238-29-66

E-mail: zevs@naukaran.ru

Оригинал-макет подготовлен ФГУП «Академиздатцентр «Наука»

Отпечатано в ФГУП «Академиздатцентр «Наука» (Типография «Наука»),
121099 Москва, Шубинский пер., 6



