

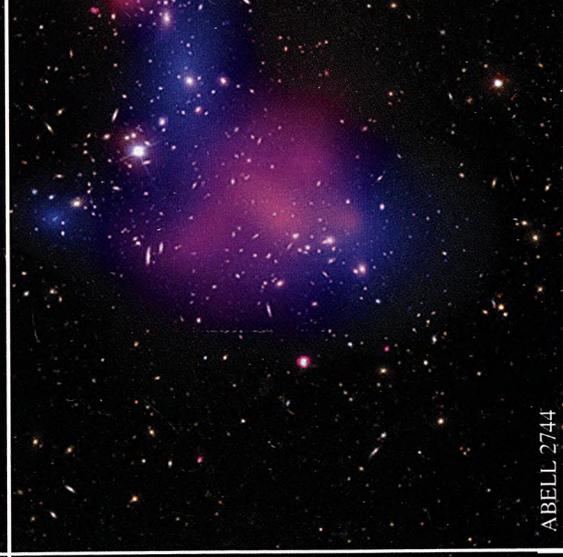
ISSN 0044-3948

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

КОСМОНАВТИКА
АСТРОНОМИЯ
ГЕОФИЗИКА

СЕНТЯБРЬ-ОКТЯБРЬ 5/2015

50 ЛЕТ
ИКИ РАН



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

5/2015



Новости науки и другая информация: Солнце в апреле – мае 2015 г. [69]; “Марс Экспресс” исследует Аравийскую Землю [72]; Последний снимок Гипериона [82]; Темная материя в скоплениях галактик? [88]; Рекордно далекая галактика [108]; “Мессенджер” упал на Меркурий [109]; Остаток сверхновой с мощным тепловым излучением [110]; Карта Цереры [110]; Суперземля: колебания температуры [111]; Туманность Медуза [111].
Новые книги: Из истории космонавтики [34].

В номере:

- 3 ЗЕЛЁНЫЙ Л.М. К 50-летию ИКИ РАН
- 5 50 лет космических исследований в ИКИ РАН
- 8 БЕЛЯЕВ Д.А. “Венера Экспресс”: новые открытия и загадки Венеры
- 18 СЮНЯЕВ Р.А., ЧУРАЗОВ Е.М., ЛУТОВИНОВ А.А., РЕВНИВЦЕВ М.Г., САЗОНОВ С.Ю., ГРЕБЕНЕВ С.А. Вселенная под присмотром “Интеграла”
- 35 АНАНЬЕВА В.И. Методы исследований экзопланет и новые инструменты
- 50 ВАЙСБЕРГ О.Л. Влияние солнечного ветра на атмосферы Марса и Венеры

СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

- 64 ВИНОГРАДОВА С.Е. Исследования на МКС

ЛЮДИ НАУКИ

- 73 ЕРЕМЕЕВА А.И. Пётр Григорьевич Куликовский (к 105-летию со дня рождения)

ЭКСПЕДИЦИИ

- 83 ЯЗЕВ С.А. Исследование полного солнечного затмения 20 марта 2015 г.

ЛЮБИТЕЛЬСКОЕ ТЕЛЕСКОПОСТРОЕНИЕ

- 89 СИКОРУК Л.Л. Проектирование и строительство любительских обсерваторий (продолжение)

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

- 98 СОЛОМОНОВ Ю.В. Астеризмы созвездия Лебедя
- 103 ЩИВЬЁВ В.И. Небесный календарь: ноябрь – декабрь 2015 г.



Zemlya i Vselennaya (Earth and Universe); Moscow, Maronovsky per., 26, f. 1965, 6 a year; by the Nauka (Science) Publishing House; Joint edition of the Russian Academy of 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: Остаток сверхновой G352.7-0.1 в созвездии Скорпиона, расстояние – 24 тыс. св. лет от нас. Изображение получено в рентгеновском диапазоне космическими обсерваториями “Чандра” и “ХММ-Newton”. Фото NASA, ESA (к стр. 110).

На стр. 2 обложки: Взаимодействующие скопления галактик, в которых присутствуют темная материя (синий цвет) и облака межзвездного газа (розовый), температура газа – миллионы градусов. Изображения получены космическими обсерваториями “Чандра” и KTX. Фото NASA/JPL (к стр. 88).

На стр. 3 обложки: Вверху – Карта карликовой планеты Церера. Составлена из снимков, сделанных через светофильтры с длиной волны 440 нм, 550 нм и 920 нм (ближний ИК) в марте 2015 г. АМС “Доун”. Фото NASA/JPL (к стр. 110). В середине – Так, по представлению художника, могут выглядеть два полушария суперземли 55 Рака в двойной системе 55 Рака (HD 75732), испытывающей колебания температуры (к стр. 111). Внизу – Аравийская Земля на Марсе. Снимок сделан 26 ноября 2014 г. АМС “Марс Экспресс”. Фото ESA (к стр. 72).

На стр. 4 обложки: Фрагмент панетарной туманности Медуза (Sharpless, 2-274, Abell 21) размером 4 св. года, находящейся в 1500 св. лет от нас в созвездии Близнецов. Фото ESO (к стр. 111).

In this issue:

- 3 ZELENYI L.M. On the 50th anniversary of IKI of RAS
5 50 Years of Space Research at IKI
8 BELYAEV D.A. “Venus Express”: New Discoveries and Mysteries of Venus
18 SUNYAEV R.A., CHURAZOV E.M., LUTOVINOV A.A., REVNIVTSEV M.G., SAZONOV S.Yu., GREBENEV S.A. Universe under the Watch of “INTEGRAL”
35 ANANYEVA V.I. Methods of Exoplanet Studies and New Instruments
50 VAISBERG O.L. Influence of the Solar Wind on the Atmospheres of Mars and Venus

SYMPOSIA, CONFERENCES, CONGRESSES

- 64 VINOGRADOVA S.E. Research and Development on ISS

PEOPLE OF SCIENCE

- 73 EREMEYEVA A.I. Petr Grigoryevich Kulikovskiy (to the 105th Anniversary of Birth)

EXPEDITIONS

- 83 YAZEV S.A. Studying the Solar Eclipse of 2015 March 20

AMATEUR TELESCOPE MAKING

- 89 SIKORUK L.L. Design and Manufacturing of the Amateur Observatories (conclusion)

AMATEUR ASTRONOMY

- 98 SOLOMONOV Yu.V. Asterisms of Cygnus Constellation
103 SHCHIV'YOV V.I. Celestial Calendar: November – December 2015

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



К 50-летию ИКИ РАН

Журнал Президиума РАН “Земля и Вселенная” всегда был знаковым изданием для сотрудников Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН). Связано это во многом с тем, что тематика исследований, проводимых в Институте, фактически один в один совпадает с тематикой журнала, сформировавшейся благодаря деятельности известного подвижника и популяризатора науки Ефрема Павловича Левитана. Он был одним из создателей журнала, его первым ответственным секретарем и в течение многих лет заместителем главного редактора. Совпадение может быть и случайное, но глубоко символичное: и журнал, и ИКИ были созданы в один год. Первый номер “Земли и Вселенной” вышел из печати в январе 1965 г., а правительственное постановление о создании Института подписано в мае того же года. Трудно поверить, что так быстро пробежало время: и ИКИ РАН, и журналу



в этом году исполнилось по 50 лет.

Мы искренне признательны редакции журнала за многочисленные публикации статей наших сотрудников, а сегодняшний выпуск в значительной мере посвящен юбилею Института. В него вошли статьи по нескольким актуальным проектам. “Венера Экспресс” – проект ESA. На борту запущенной в 2005 г. автоматической межпланетной станции было установлено несколько российских приборов. Проект в каком-то смысле стал экспромтом, возникшим на волне успеха проекта “Марс Экспресс”, реализованного несколькими годами раньше, который, в свою очередь, был реинкарнацией погибше-

го в Тихом океане российского космического аппарата “Марс-96”. Автор статьи кандидат физико-математических наук Д.А. Беляев – один из самых активных участников этих исследований – подготовил очень содержательный обзор научных результатов, полученных за 10 лет работы АМС “Венера Экспресс”.

Экспедиция “Розетта” к комете Чурюмова – Герасименко стала блестящим успехом наших европейских коллег и друзей. Как раз в те дни, когда писались эти строки, пришла неожиданная и радостная весть об “оживлении” спускаемого аппарата “Филы”, не совсем удачно севшего на поверхность кометы в ноябре 2014 г. (Земля и Вселенная, 2015, № 2, с. 108–110; № 4). Все перипетии этой десятилетней экспедиции, ожидания и разочарования авторов эксперимента и первые результаты подробно описаны в статье профессора Л.В. Ксанфомалити и его соавторов. На обоих аппаратах “Розетты”, к сожалению,

не было российских приборов, хотя старший научный сотрудник ИКИ РАН А.П. Ремизов был одним из главных разработчиков и изготовителей плазменного прибора для посадочного модуля. Надеюсь, позже он порадует нас подробной статьей о полученных в этом эксперименте результатах.

“Интеграл” – европейская орбитальная обсерватория для наблюдения гамма-излучения различных космических источников. На “Интеграле” тоже нет наших научных приборов. Но Россия помимо ракеты-носителя “Протон”, предоставленной Роскосмосом для выведения обсерватории на орбиту, обеспечила ESA мощный интеллектуальный ресурс российских теоретиков и экспериментаторов, имеющих громадный опыт исследований по астрофизике высоких энергий. О наиболее интересных из многочисленных результатов “Интеграла” можно прочитать в статье академика Р.А. Сюняева и его соавторов.

Следующий материал посвящен планетам вне Солнечной системы. Это, наверное, главное направление современной астрофизики, бурно развивающееся в последние годы. С совершенствованием экспериментальных методик число обнаруженных экзопланет растет не по дням, а по часам. Недавно пионер этого направления

Уильям Боруцки (NASA), руководитель проекта космической обсерватории “Кеплер”, был награжден престижнейшей японской международной научной премией SHAW PRIZE. К сожалению, мы пока гости на этом празднике жизни – следим за открытиями, которые делают наши зарубежные коллеги, строим различные, иногда очень изысканные модели формирования планетных систем у других звезд, но в “экзопланетной лихорадке” задействованы очень мало. Основные итоги исследования внесолнечных планет приведены в статье ведущего специалиста В.И. Ананьевой, которая тоже вошла в этот выпуск журнала.

Автор статьи о влиянии солнечного ветра на атмосферы Марса и Венеры О.Л. Вайсберг – крупнейший специалист в этой области, руководитель группы изучения пространства скоростей, ведущий научный сотрудник ИКИ, академик Международной академии астронавтики. Он автор и руководитель экспериментов на многих искусственных спутниках Марса, Венеры, Земли, участвовал в проектах “Вега” и “БепиКоломбо” (ESA). Его основные научные результаты связаны с обнаружением и исследованием индуцированных магнитосфер Марса и Венеры.

И, наконец, последний материал ИКИ в пред-

лагаемом выпуске посвящен итогам международной конференции “Наука на МКС”, которая состоялась в апреле 2015 г. в нашем Институте. В отличие от конференции 2008 г., “Наука на российском сегменте МКС”, в этот раз мы постарались подчеркнуть международный характер исследований на станции и инициировать проведение экспериментов, общих для обитателей всех сегментов МКС. В работе конференции приняло участие более 30 зарубежных специалистов из США, Европы и Японии. Надеюсь, что эта встреча даст заметный импульс к объединению усилий и проведению совместных экспериментов.

В заключение хочу пожелать успеха редакции и редколлегии журнала “Земля и Вселенная” в трудном деле “вытягивания” статей из наших активных ученых, обычно неохотно готовящих научно-популярные материалы. Думаю, что доклады, которые будут представлены на юбилейной конференции в ИКИ РАН и Президиуме РАН в октябре 2015 г., могут стать основой еще одного специализированного выпуска журнала.

*Академик
Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
член редколлегии
журнала*

“Земля и Вселенная”

50 лет КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ в ИКИ РАН

15 мая 2015 г. Институт космических исследований РАН отметил юбилей – 50 лет со дня выхода постановления Совета министров СССР № 392-147, на основе которого был организован Институт, вошедший в состав Академии наук СССР. Инициатором его создания стал президент Академии наук **Мстислав Всеволодович Келдыш**. Первым директором Института, в 1965–1973 гг., был Герой Социалистического Труда, академик **Георгий Иванович Петров** (1912–1987), вместе с С.П. Королёвым и М.В. Келдышем стоявший у истоков космонавтики. Он возглавлял Научный совет АН СССР по проблемам Луны и планет, активно участвовал в формировании программы исследований тел Солнечной системы. В 1973–1988 гг., во время расцвета деятельности Института, директором был Герой Социалистического Труда, академик **Роальд Зиннурович Сагдеев** – специалист в области физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза, затем он руководил научно-методическим центром аналитических исследований. В 1988–2002 гг. Институт возглавлял



ученый в области физики плазмы и астрофизики академик **Альберт Абубакирович Галеев**. С 2002 г. Институтом руководит академик **Лев Матвеевич Зелёный**, ученый в области физики космической плазмы.

Сегодня ИКИ РАН – один из важнейших центров изучения космического пространства в России и мире, головной Институт по научным программам многих

российских научных космических проектов (Земля и Вселенная, 2005, № 5). Институт выполняет экспериментальные исследования в области фундаментальных наук: астрофизика высоких энергий, физика планет, малых тел Солнечной системы, Солнца и солнечно-земных связей, ядерная планетология, космическая плазма и нелинейная геофизика. ИКИ поручены так-

же подготовка программ научных космических исследований, разработка и испытания комплексов научной аппаратуры по проектам, принятым Российской академией наук и Федеральным космическим агентством. Его сотрудники ведут научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в сфере изучения дистанционного зондирования Земли, околоземного космоса и солнечно-земных связей, космического приборостроения и других направлений космической науки. В Институте проводятся также инновационные разработки для фундаментальных и прикладных космических проектов.

Первое десятилетие после запуска ИСЗ в 1957 г. считается эпохой “великих космических открытий” и “золотым веком космонавтики”, когда ученые сформировали направления развития фундаментальных космических исследований. Академия наук была непосредственным участником этих событий. Через несколько лет после начала космической эры стало понятно, что для систематической научной работы в космосе нужна организация, которая и составляла бы программу исследований, и координировала усилия по ее выполнению. Именно такой организацией, по замыслу

Главного теоретика отечественной космонавтики М.В. Келдыша, должен был стать Институт космических исследований. В постановлении Президиума АН СССР о создании ИКИ сказано, что он становится *“головной академической организацией по научным исследованиям в области изучения космоса, разработке и изучению научных проблем, связанных с космическими полетами, и является научно-методической базой Межведомственного научно-технического совета по космическим исследованиям”*.

Главная особенность Института – совмещение теоретического и инструментального изучения космоса. Его ученые предлагают идеи новых космических проектов и экспериментов и воплощают их, создавая научные приборы и определяя план работы. Когда космический эксперимент начинается, наступает время получать и обрабатывать служебную и научную информацию, чтобы на ее основе проверять существующие и предлагать новые гипотезы о том, что происходит во Вселенной и на нашей планете.

Специалисты Института создавали научную и служебную аппаратуру для космических аппаратов, проводили исследования по международным, отечественным и

зарубежным проектам. В числе самых ярких:

– серия автоматических межпланетных станций “Венера”, начиная с “Венеры-4” (1967), по изучению Венеры с орбиты и поверхности планеты (Земля и Вселенная, 1974, № 1; 1977, № 1; 1979, № 4; 1983, № 1; 1986, № 4);

– серия высокоапогейных спутников “Прогноз” (1972–1996), главной целью которых было изучение солнечно-плазменных процессов около Земли. Кроме этого, на “Прогнозе-9” в 1983 г. впервые проводился эксперимент “Реликт” по измерению анизотропии микроволнового фонового излучения Вселенной из космоса (Земля и Вселенная, 1972, № 6; 1984, № 4);

– международный проект “Вега” (1984–1986) – изучение атмосферы Венеры и первые в мире прямые измерения во время пролета вблизи ядра кометы Галлея (Земля и Вселенная, 1986, №№ 3–5);

– астрофизические обсерватории “Рентген” на модуле “Квант” орбитального комплекса “Мир” (1987–2001) и “Гранат” (1989–1999), наблюдавшие Вселенную в рентгеновских лучах (Земля и Вселенная, 1989, № 3; 1993, № 6; 2000, № 6);

– многоспутниковый проект “Интербол” (“Прогноз-11 и -12”, 1995–2001) – изучение сол-

нечно-земных связей и магнитосферы Земли; одновременные измерения проводились в нескольких пространственно разделенных точках (Земля и Вселенная, 1997, № 3);

– дистанционное зондирование грунта Марса и Луны нейтронными детекторами ХЕНД (АМС “Марс Одиссей” с 2001 г.), ЛЕНД (АМС “Лунный орбитальный разведчик”, с 2009 г.) и ДАН (марсоход “Кьюриосити”, с 2012 г.), открывшими запасы подповерхностного льда (Земля и Вселенная, 2010, №4; 2013, № 1);

– первый академический малый спутник “Чибис-М” (2012–2014), изучавший грозы из космоса (Земля и Вселенная, 2013, № 4).

В Институте разрабатываются и используются информационные сервисы спутникового

мониторинга Земли, с помощью которых можно оценивать, в частности, состояние лесов и пожарную ситуацию в стране, наблюдать за использованием пахотных земель. Созданы приборы для автономной навигации космических аппаратов, успешно функционирующие на десятках спутников, и не только научных.

Сегодня в ИКИ РАН работают 250 научных сотрудников, 61 доктор наук и 123 кандидата наук (данные на конец 2014 г.). В 2014 г. в рецензируемых отечественных и рейтинговых зарубежных журналах опубликовано 338 статей, подготовленных в рамках проводимых фундаментальных исследований. Ученые активно участвуют в грантовых программах Российского фонда фундаментальных

исследований, Российского научного фонда, программах Президиума и Отделения физических наук РАН, а также в международных проектах. В рамках программ Совета по грантам Президента РФ реализуется четыре проекта (государственная поддержка молодых российских ученых – докторов и кандидатов наук) и поддержаны три ведущие научные школы с руководителями – сотрудниками Института.

В честь юбилея в октябре 2015 г. в ИКИ РАН при поддержке Академии наук была организована научная конференция, посвященная современным задачам космической науки. Торжественные мероприятия приурочены к годовщине полета первого искусственного спутника Земли.

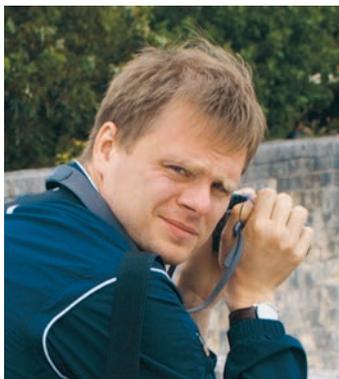
Пресс-служба ИКИ РАН



“Венера Экспресс”: новые открытия и загадки Венеры

Д.А. БЕЛЯЕВ,
кандидат физико-математических наук
ИКИ РАН

Планета Венера схожа с Землей по массе, размеру и количеству получаемой солнечной энергии. Последний факт объясняется тем, что меньшее расстояние от Солнца компенсируется большим альбедо Венеры. Все это до поры до времени давало основания полагать, что климатические условия на Венере не очень отличаются от земных. С началом космической эры выяснилось, что это совсем не так. Первые планетные экспедиции к Венере открыли ее практически заново. Сухая, углекислотная атмосфера с мощным парниковым эффектом разогрета у поверхности до 500 °С, атмосферное давление в сто раз выше, чем на Земле. Кроме того, Венера оказалась полностью покрытой плот-



ным слоем облаков из капель серной кислоты. У планеты отсутствует собственное магнитное поле, а значит, потоки солнечного ветра напрямую взаимодействуют с верхними слоями атмосферы. Еще одно отличие от Земли – отсутствие смены времен года и большая длительность суток (117 земных суток), что привело, например, к формированию криосферы на ночной стороне с тем-

пературами, отличающимися от земной термосферы.

Эти факты поставили перед исследователями глобальные вопросы в области сравнительной планетологии. Почему Венера так сильно отличается от Земли? Была ли она в прошлом похожа на Землю? Ждет ли Землю судьба Венеры? Изучение природы Венеры началось с полетов многочисленных советских и американских аппаратов, работавших на орбите и на поверхности планеты в 60–80-х гг. XX в. В 2005 г., после почти 15-летней паузы, была запущена первая европейская АМС – “Венера Экспресс” – для обширного и детального исследования атмосферы и околопланетной плазмы. Аппарат проработал на орбите Венеры до конца 2014 г.,

осуществив систематический обзор состава, структуры и динамики атмосферы за девять лет (Земля и Вселенная,

2006, №№ 2, 3; 2012, № 3; 2015, № 1). Новые данные “Венеры Экспресс” о процессах, поддерживающих экстремальные

условия на планете, породили новые вопросы о природе и эволюции загадочной и близкой к нам Утренней звезды.

ДВЕ ЭПОХИ

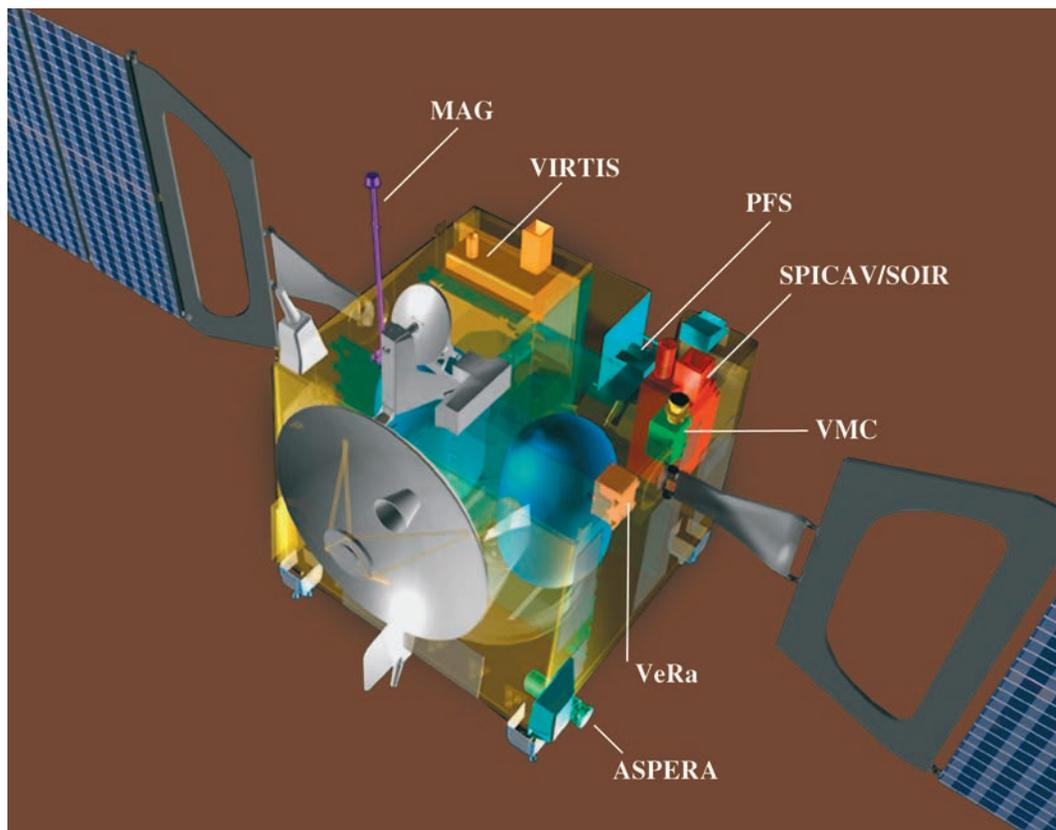
История космических исследований Венеры насчитывает более 20 всевозможных миссий и делится на две эпохи. В первый период (1962–1989) советские и американские аппараты регулярно изучали планету с помощью орбитальных, пролетных и посадочных модулей, а также атмосферных баллонов. Вполне закономерно, что именно с Венерой связаны многие технические достижения в области планетных экспедиций, о которых говорят “впервые”: “Маринер-2” (1962) – первый успешный перелет к другой планете; “Венера-4” (1967) – первые прямые измерения на другой планете; “Венера-7” (1970) – первая посадка на поверхность другой планеты. Детальный обзор выполненных в XX в. планетных экспедиций представлен в статье доктора физико-математических наук В.И. Мороза (Космические исследования. 2002, т. 40, № 5, с. 451–481). Особого внимания заслуживает глобальное картирование поверхности в 1980-х гг. АМС “Пионер Венера”, “Венера-15, -16” и “Магел-

лан”, наряду с данными со спускаемых модулей оно помогло многое узнать о геологии и геофизике поверхности. Также нельзя не отметить последний на сегодня выдающийся отечественный проект, связанный с Венерой – “Вега” (1984–1985). Посадочные станции и аэростатные зонды измерили структуру и динамику нижней атмосферы и облаков. Пионерские миссии наряду с параллельными наземными наблюдениями привели к общему пониманию физических и химических условий в атмосфере и на поверхности планеты. Пришло время детально исследовать атмосферные процессы, определяющие столь необычный климат на планете.

Нового шага в освоении Венеры пришлось ждать более 15 лет, до тех пор пока Европейское космическое агентство не подготовило АМС “Венера Экспресс”, предназначенную для глобального исследования атмосферы планеты с ее орбиты. Запуск состоялся в ноябре 2005 г. с космодрома Байконур (РН “Союз-Фрегат”), в апреле 2006 г. она вышла на орбиту вокруг Вене-

ры, спустя месяц начались научные исследования. Основное внимание было уделено детальному изучению структуры, состава и динамики атмосферы, процессам взаимодействия солнечного ветра с атмосферой и потерям вещества планетой. Научная аппаратура унаследована от уже действовавших к тому времени европейских АМС “Марс Экспресс” и “Розетта”. Некоторые из приборов оказались актуальными для решения научных задач на Венере – PFS, SPICAV, ASPERA, VeRa (“Марс Экспресс”) и VIRTIS (“Розетта”). Еще три прибора – магнетометр MAG, ИК-спектрометр SOIR и камера мониторинга VMC – были разработаны специально для АМС “Венера Экспресс”.

Космический аппарат находился на полярной орбите Венеры высотой 250 × 65 000 км, период обращения – 24 ч. С помощью спектрометра VIRTIS и камеры VMC была детально изучена морфология полярных вихрей в облаках в УФ- и в ИК-диапазоне спектра. Благодаря такой вытянутой орбите прибор ASPERA исследовал про-



цессы взаимодействия солнечного ветра с ионосферой, а магнетометр MAG измерял величину индуцированного магнитного поля и его направление в зависимости от удаленности от планеты. Находясь на теневой стороне, ИК-каналы спектрометров SPICAV и VIRTIS смогли “заглянуть” под облака планеты (ниже 60 км), измерили тепловое излучение атмосферы в спектральных “окнах прозрачности”. Кроме того, особенности орбиты позволили впервые провести на Венере затменный эксперимент, называемый ме-

тодом солнечного (или звездного) просвечивания. Для этого был разработан ИК-спектрометр высокого разрешения SOIR, который совместно с каналами SPICAV измерил вертикальное распределение слоев и химического состава надоблачной атмосферы (выше 70 км). Радиолокатор VeRa методом радиопросвечивания зондировал структуру нейтральной атмосферы (40–80 км) и ионосферы (100–600 км). Научные задачи Фурье-спектрометра PFS, связанные с картированием верхней атмосферы в тепло-

Размещение научной аппаратуры на АМС “Венера Экспресс”: MAG – магнетометр, VIRTIS – картирующий спектрометр УФ-, видимого и ИК-диапазона, PFS – Фурье-спектрометр, SPICAV – спектрометр УФ- и ближнего ИК-диапазона, SOIR – ИК-спектрометр высокого разрешения, VMC – камера мониторинга, VeRa – радиозондирование, ASPERA – анализатор космической плазмы. Рисунок ESA.

вом диапазоне, к сожалению, не были решены, поскольку прибор вышел из строя во время перелета к Венере.

Участие России в европейском проекте “Венера Экспресс” имеет немалую инженерную и научную значимость. ИКИ РАН поставил на прибор SPICAV инфракрасный канал, а также акустооптический блок для спектрометра SOIR. На нашу долю приходится также участие в испытаниях и калибровках приборов VMC и PFS. Научные сотрудники ИКИ РАН ана-

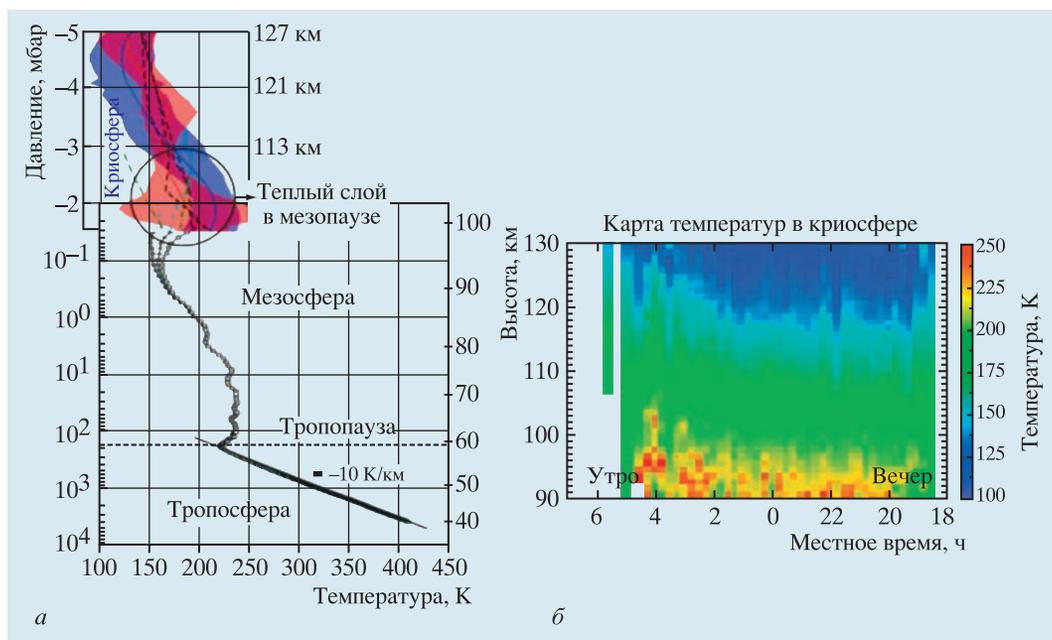
лизируют данные экспериментов SPICAV, SOIR, VMC и VIRTIS. Ниже приведены основные научные результаты миссии “Венера Экспресс”, которая завершилась в конце 2014 г., закрыв вторую эпоху изучения Венеры.

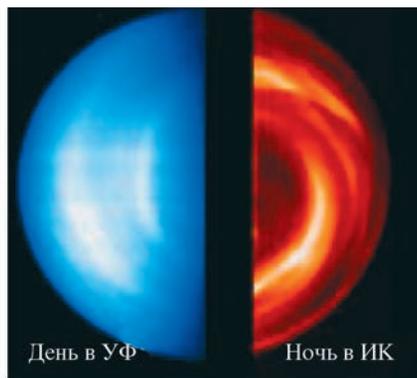
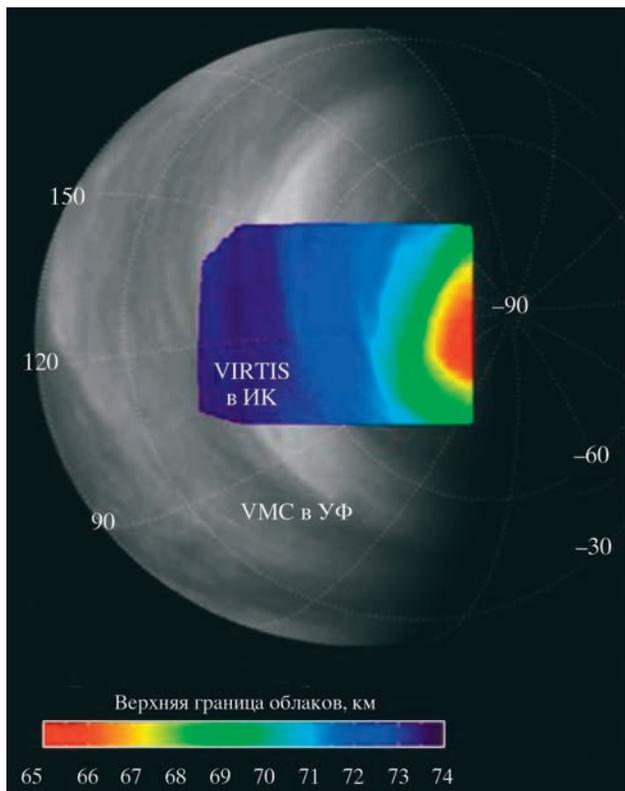
ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПРОФИЛЬ И ЗАГАДКИ КРИОСФЕРЫ

Прежние исследования нижней атмосферы Венеры – тропосферы (0–60 км), скрытой под толстым слоем облаков и разогретой парниковым эффектом, – показали, что на динамику ее температуры практически не влияют широта и время суток. Эта зависимость начинает сказываться в верхней атмосфере – мезосфере (60–100 км), где широтные и временные

вариации температуры обусловлены радиационными и динамическими процессами над облаками. Ситуация кардинально меняется в термосфере (100–200 км), где на дневной стороне температура не опускается ниже $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и далее растет с высотой, а на ночной стороне продолжает убывать до $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такую “холодную” ночную термосферу Венеры иногда называют криосферой. Она не имеет аналогов в Солнечной системе и до сих пор была изучена неполно, поскольку все предыдущие эксперименты в этой области имели плохое высотное разрешение (хуже 10 км) и покрывали лишь экваториальную часть планеты.

Структура атмосферы Венеры: а) температура ниже 90 км (радиопросвечивание с помощью прибора VeRa) и выше 90 км (звездные просвечивания спектрометрами SPICAV и SOIR); б) карта температур криосферы, по данным SPICAV в УФ-диапазоне на ночной стороне. ESA.





Несколько приборов АМС “Венера Экспресс” методом просвечивания измеряли температурную структуру верхних слоев атмосферы на всех широтах и с рекордно высоким пространственным разрешением – от 0,3 до 3 км в зависимости от расстояния до лимба планеты. Впервые была построена карта температур в зависимости от времени суток в криосфере, где на высотах около 100 км обнаружен слой с температурой, повышенной на 20–40 °С. Точная причина образования загадочного “теплого слоя” пока не известна. Ответ кроется,

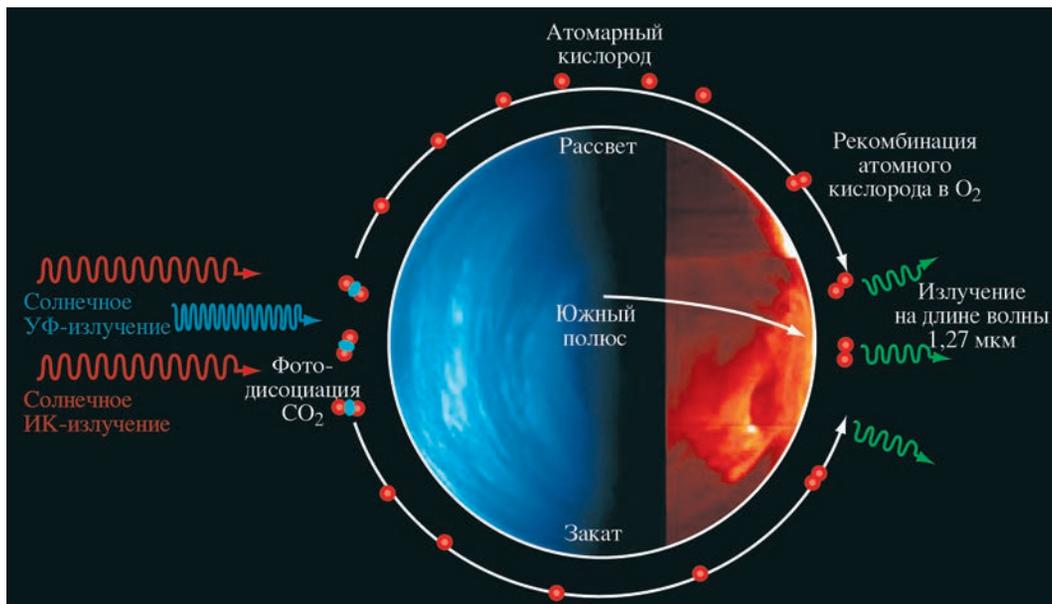
возможно, в глобальной циркуляции атмосферы с дневной стороны на ночную, где охлажденная криосферой воздушная масса опускается ниже 100 км, что может приводить к адиабатическому сжатию и локальному нагреву атмосферы.

СТРУКТУРА ОБЛАКОВ И ЦИРКУЛЯЦИЯ АТМОСФЕРЫ

Венера полностью покрыта облачным слоем, расположенным на высоте 50–70 км. В видимом диапазоне планета представляет собой равномерный диск. В ультрафиолете на верхней границе облаков видны

Карта верхней границы облаков Венеры в ИК-диапазоне, по данным VIRTIS АМС “Венера Экспресс”, полученным 20 декабря 2006 г. Граница убывает от экватора (74 км) к полюсу (65 км). Справа сверху – изображение облаков со стороны южного полюса, полученное одновременно на дневной и на ночной сторонах прибором VIRTIS. Видна глобальная суперротация облаков. Внизу – снимок полярного вихря, сделанный камерой VMC АМС “Венера Экспресс”. Фото ESA.

контрастные детали, обусловленные присутствием неизвестного пока вещества, поглощающе-



Свечение кислорода на ночной стороне Венеры и его взаимосвязь с глобальной циркуляцией в термосфере. Снимок получен спектрометром VIRTIS AMC "Венера Экспресс". Фото ESA.

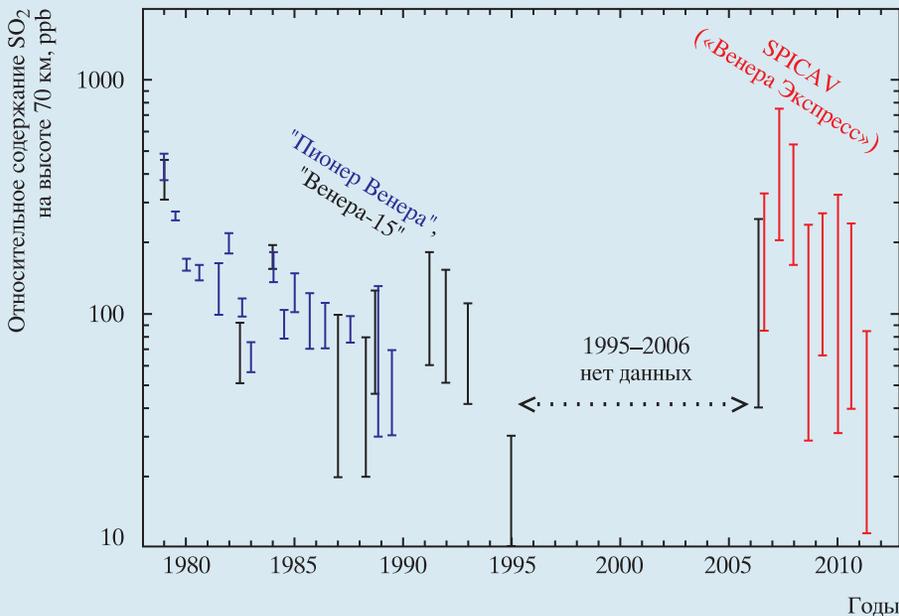
го около половины потока излучения Солнца. По контрастным УФ-изображениям (камера VMC) и мультиспектральному картированию (прибор VIRTIS) удалось изучить морфологию облаков на разной высоте, а методом альтиметрии – определить верхнюю границу облачного слоя. Впервые детально исследованы полярные области со спиральными вихрями.

В атмосфере Венеры можно выделить два режима общей циркуляции:

обратная зональная суперротация в тропосфере и мезосфере и поток от подсолнечной к противосолнечной области в термосфере. Скорость ветра у суперротации меняется от примерно 100 м/с у верхней границы облаков до нуля у поверхности. На циркуляцию накладывается более медленное (<10 м/с) меридиональное движение от экватора к полюсам, завершающееся огромными полярными вихрями. "Венера Экспресс" количественно исследовала поле ветров на высоте около 70 км посредством слежения за УФ-детальными на верхней границе облаков. По статистике, набранной за семь лет наблюдений, обнаружена периодичность в изменении скорости ветра, связанная с

периодом суперротации (4–5 земных суток). Получен также общий тренд к увеличению средней зональной скорости от 80 м/с в 2006 г. до 120 м/с в 2013 г.

Глобальную циркуляцию в термосфере изучали по результатам наблюдений на ночной стороне свечений кислорода, гидроксила (ОН), окиси азота (NO). Это красивое явление связано транзитом освобожденных после фотодиссоциации атомов с подсолнечной стороны на противоположную, где они рекомбинируют на высоте около 100 км, что приводит к генерации излучения на определенных длинах волн: 200–300 нм (NO), 1,27 мкм (O₂), 1,44 и 2,8 мкм (ОН).



СОСТАВЛЯЮЩИЕ АТМОСФЕРЫ

Углекислый газ и азот — основные компоненты атмосферы Венеры. Серосодержащие газы, окись углерода, водяной пар и другие малые составляющие присутствуют в атмосфере в количестве от нескольких промилле до нескольких сотен промилле (ppm). Несмотря на такое малое содержание, их роль в химических процессах в атмосфере весьма велика. Так, взаимодействие двуокиси серы (SO₂) с водяным паром и кислородом в верхней тропосфере приводит к формированию облаков из капель серной кислоты. С борта КА "Венера Экспресс" методом про-

свечивания были получены вертикальные распределения газов CO, H₂O, HDO, SO₂, SO, HCl, HF по всей мезосфере (60–100 км). Для многих из них высотные профили содержания получены впервые, так как прежде концентрация газов определялась только на уровне верхней границы облаков (70 км) при наблюдениях в надир.

Особого внимания заслуживают серо- и хлорсодержащие составляющие, поскольку это продукты вулканической активности на Венере. Двуокись серы считается одним из косвенных индикаторов вулканизма: единичный всплеск нарушает режимы вертикального перемешивания под облаками и, как

Диаграмма содержания двуокиси серы в области верхней границы облаков (70 км) Венеры. ESA.

следствие, увеличенные порции SO₂ могут проникать в надоблачную среду. Этот газ измеряется на Венере уже более 40 лет. В 1978–1988 гг. в результате непрерывных наблюдений получен тренд к снижению содержания SO₂ на уровне верхней границы облаков. Похожий тренд получился и сейчас по данным SPICAV в 2006–2013 гг. Уменьшение концентрации SO₂ и связь его с возможной вулканической деятельностью на планете вызывают жаркие дискуссии.

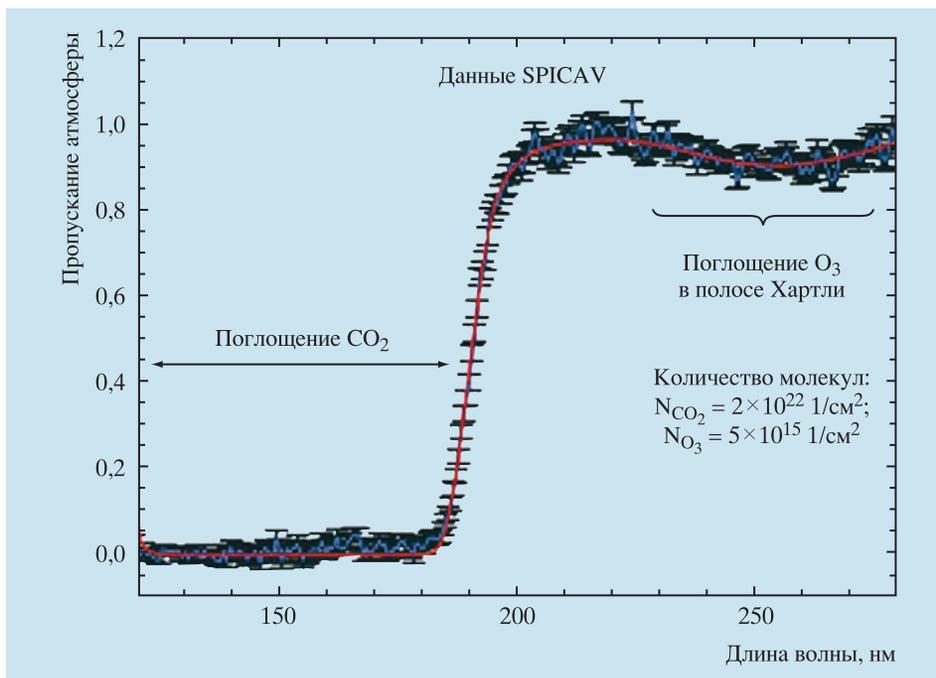


Диаграмма детектирования поглощения озона прибором SPICAV в УФ-диапазоне в атмосфере Венеры на высоте 100 км. По данным АМС "Венера Экспресс". ESA.

В вертикальном распределении двуокиси серы, впервые полученном приборами SPICAV и SOIR, обнаружен слой с повышенным содержанием газа на высоте 90–100 км. Этот слой прежние модели не предсказывали, согласно им, концентрация SO₂ монотонно убывает с высотой. Новые фотохимические расчеты привели к появлению двух гипотез: SO₂ обогащается за счет окисления частиц серы либо фотодиссоциации

паров серной кислоты, то есть распада молекулы H₂SO₄ на составляющие H₂O и SO₂+O. Для точного выяснения причин требуется исследовать состав и свойства аэрозольных частиц в мезосфере, а также найти взаимосвязь между вариациями двуокиси серы и водяного пара.

Одна из фундаментальных проблем в исследовании Венеры — эволюция воды на ней. Венера сегодня – крайне сухая планета. Но ведь когда-то там была вода в избытке? Механизмы потери атмосферой воды можно оценить через отношение дейтерия к водороду (D/H). По современным представлениям, планеты земной группы на стадии зарож-

дения имели одинаковые изотопные соотношения. Зная величину HDO/H₂O относительно земного содержания, можно понять, как эволюционировала вода на другой планете. На Венере это соотношение определялось прежде лишь под облаками и оказалось в 150 раз больше земного. Для полной оценки ухода воды необходимы были измерения в верхней атмосфере. С этой задачей прекрасно справился спектрометр SOIR, детектируя поглощения паров HDO и H₂O одновременно в обоих интервалах спектра (3,67 и 2,7 мкм) и получив вертикальное распределение HDO/H₂O по всей мезосфере. Здесь это отношение оказалось больше в 240 раз. Что же проис-

ходит? Выше 70 км водород, освободившийся после фотолиза водяного пара, легко покидает атмосферу. С “тяжелой водой” (HDO) эти процессы протекают медленнее, что и повышает изотопное соотношение. Сценарии ухода воды исследуются и выше, в ионосфере, по потокам ионов кислорода и водорода. Прибором ASPERA было измерено отношение H/O – 2:1, что подтверждает теорию непрерывной утраты воды Венерой.

С миссией “Венера Экспресс” связано еще одно достижение в области состава атмосферы – открытие озонового слоя. Химические модели предсказывали наличие озона в малых количествах на ночной стороне, но подходящих экспериментов до сих пор не было. Его образование здесь имеет тот же источник, что и свечение кислорода, – глобальная циркуляция в термосфере. С другой стороны, молекула O₃ разрушается под воздействием гидроксила OH и хлора, радикалы которого доставляются сюда все той же циркуляцией. Подобные процессы происходят и на Земле. Озон на Венере детектирован УФ-каналом SPICAV в режиме звездного просвечивания на высоте 90–100 км, когда прибор измерял спектр определенной

звезды, ослабленный атмосферой, на лимбе планеты. В спектре атмосферного пропускания четко виден провал в области полосы Хартли, одной из фундаментальных полос поглощения озона в интервале длин волн 230–280 нм. Количество молекул газа на луче зрения ($\sim 10^{16}$ 1/см²) оказалось достаточным, чтобы выявить такое поглощение на указанных высотах. Для сравнения: это в 300 раз меньше, чем на Марсе и примерно в 1000 раз меньше, чем на Земле.

ВЗГЛЯД ПОД ОБЛАКА

Плотный облачный слой, отражающий около 60% солнечного излучения, не позволяет визуально заглянуть под него и тем более рассмотреть поверхность. В инфракрасном диапазоне благодаря спектральным “окнам прозрачности” можно дистанционно зондировать подоблачную атмосферу вплоть до поверхности. Эти “окна” соответствуют интервалам спектра, где основной атмосферный газ CO₂ не поглощает, давая тепловому излучению атмосферы выйти “наружу” из-под облаков. Если в таком “окне” присутствуют спектральные линии поглощения малой газовой составляющей, можно определить ее содержание на определенной высоте в атмосфере. Та-

ким образом, ИК-каналами VIRTIS и SPICAV детектировалось поглощение газов в окне 2,3–2,5 мкм на высоте около 35 км (H₂O, SO₂, OCS и CO) и в полосе 1,18 мкм у поверхности (H₂O). Кроме того, в окне около 1 мкм проводились измерения тепловой эмиссии с поверхности, чтобы обнаружить области вулканической активности. Абсолютно достоверные результаты этих экспериментов пока не известны ввиду невысокой чувствительности детектирования. Ведь наблюдения в “окнах прозрачности” можно проводить только на ночной стороне, чтобы избежать мощной засветки солнечного света, отраженного облаками.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ОКОЛОПЛАНЕТНАЯ ПЛАЗМА

Первые исследования Венеры показали, что у нее нет собственного магнитного поля. Тем не менее вокруг планеты формируется индуцированная магнитосфера, возникающая при взаимодействии с ионосферой солнечного ветра, потока заряженных частиц от Солнца и межпланетного магнитного поля. Такая магнитосфера содержит ударную волну, магнитослой, магнитопаузу и хвост на теневой стороне, однако размеры этих областей значительно меньше,

чем у планет, обладающих собственным магнитным полем. Магнитометр MAG и анализатор плазмы ASPERA на борту АМС “Венера Экспресс” зарегистрировали эти слои и границы между ними. Во время работы станции был минимум солнечной активности, что дополнило эксперименты на АМС “Пионер Венера-1” в период максимума. Было показано, что ударная волна в подсолнечной точке локализована на высоте около 2000 км (0,3 радиуса планеты) во время минимума (2007–2008). В максимуме ударная волна оказалась ближе к ионосфере в несколько раз, “заставляя” нижнюю границу магнитосферы проникать внутрь ионосферы (около 250 км). В эти моменты процессы ухода частиц из атмосферы усиливаются, что видно по анализу потоков ионов водорода, кислорода и гелия. Кроме того, новые данные уточнили магнитодинамическую модель, согласно которой маг-

нитный хвост на теневой стороне простирается на 30 – 45 радиусов Венеры. Предыдущие модели, построенные на основе экспериментов 1970–1980-х гг., оценивали длину хвоста в 200 радиусов.

* * *

В конце ноября 2014 г. мы получили последние научные данные с приборов “Венеры Экспресс”. Далее, ввиду истощения энергетических запасов, аппарат посылал на Землю лишь данные телеметрии, показывая постепенное снижение своей орбиты и погружение в атмосферу. В начале 2015 г. перицентр станции составлял уже 120 км... Научная миссия продлилась восемь с половиной лет – более 3 тыс. оборотов вокруг планеты. Ученые заглянули во все “уголки” облаков Венеры, частично под облака, и максимально подробно изучили надоблачную атмосферу, расширив знания о природе нашей “соседки”. Анализ данных еще

продолжается, и многие вопросы остаются открытыми. Предстоит уточнить свойства аэрозольных частиц, составляющих надоблачную дымку; найти корреляцию между серосодержащими частицами и водяным паром; исследовать взаимосвязь озонового слоя с хлорсодержащими веществами и гидроксидом. До сих пор неясен состав загадочного ультрафиолетового поглотителя в облаках. Продолжаются поиски более достоверных признаков вулканизма на Венере.

Автор данной статьи благодарит за предоставленные материалы коллег по экспериментам SPICAV, SOIR, VMC, VIRTIS, VeRa, ASPERA и MAG, а также руководителя проекта “Венера Экспресс” Х. Сведхема и научного координатора миссии, кандидата физико-математических наук Д.В. Титова из центра космических экспериментов ESTEC в Голландии (г. Нордвейк).



Вселенная под присмотром “Интеграла”

Р.А. СЮНЯЕВ,
академик

Е.М. ЧУРАЗОВ,
член-корреспондент РАН
Институт общества им. М. Планка, Германия
ИКИ РАН

А.А. ЛУТОВИНОВ,
доктор физико-математических наук

М.Г. РЕВНИВЦЕВ,
доктор физико-математических наук

С.Ю. САЗОНОВ,
доктор физико-математических наук

С.А. ГРЕБЕНЕВ,
доктор физико-математических наук
ИКИ РАН

Международная космическая астрофизическая обсерватория гамма-лучей, или “Интеграл” (INTERNATIONAL Gamma-Ray Astrophysical Laboratory, “INTEGRAL”), – один из главных инструментов современной астрофизики (Земля и Вселенная, 2003, № 2; 2010, № 1). Это проект Европейского космического агентства, реализованный в широкой международной кооперации, где одну из ключевых ролей играет наша страна. Российские специалисты, в том числе сотрудники ИКИ РАН, принимают непосредственное



участие в проекте, начиная с самых ранних его этапов. За более чем 12 лет работы обсерватории “Интеграл”

удалось раскрыть природу диффузного рентгеновского излучения Галактики, подтвердить механизм взры-

ва сверхновых типа Ia, открыть сотни новых рентгеновских источников. По данным обсерватории российские ученые опубли-

ковали более 250 работ, которые собрали более 4 тыс. ссылок. Представляем краткий обзор наиболее важных результатов в из-

учении этих объектов Вселенной, полученных в Отделе астрофизики высоких энергий ИКИ РАН.

ПУТЬ НА ОРБИТУ

Начало проекта “Интеграл” тесно связано с СССР и Россией. В 1990 г. Совет “Интеркосмос” и Совет по внеатмосферной астрономии АН СССР выступили с инициативой вывода на мощнейшей советской ракете-носителе “Энергия” комплекса астрофизических приборов из европейских стран. Анализ текущей ситуации показал, что обсерваторию в странах Европы можно создать лишь под менее тяжелую ракету-носитель “Протон”, так что в итоге были предложены три проекта, один из которых – гамма-обсерватория.

Создание космической гамма-обсерватории поддерживали в странах Европы, и в итоге эта идея воплотилась в проекте “Интеграл” (ESA). Отбор проектов в ESA проходил уже после распада Советского Союза. Вновь созданное Российское космическое агентство, Академия наук и Правительство РФ поддержали участие России в проекте.

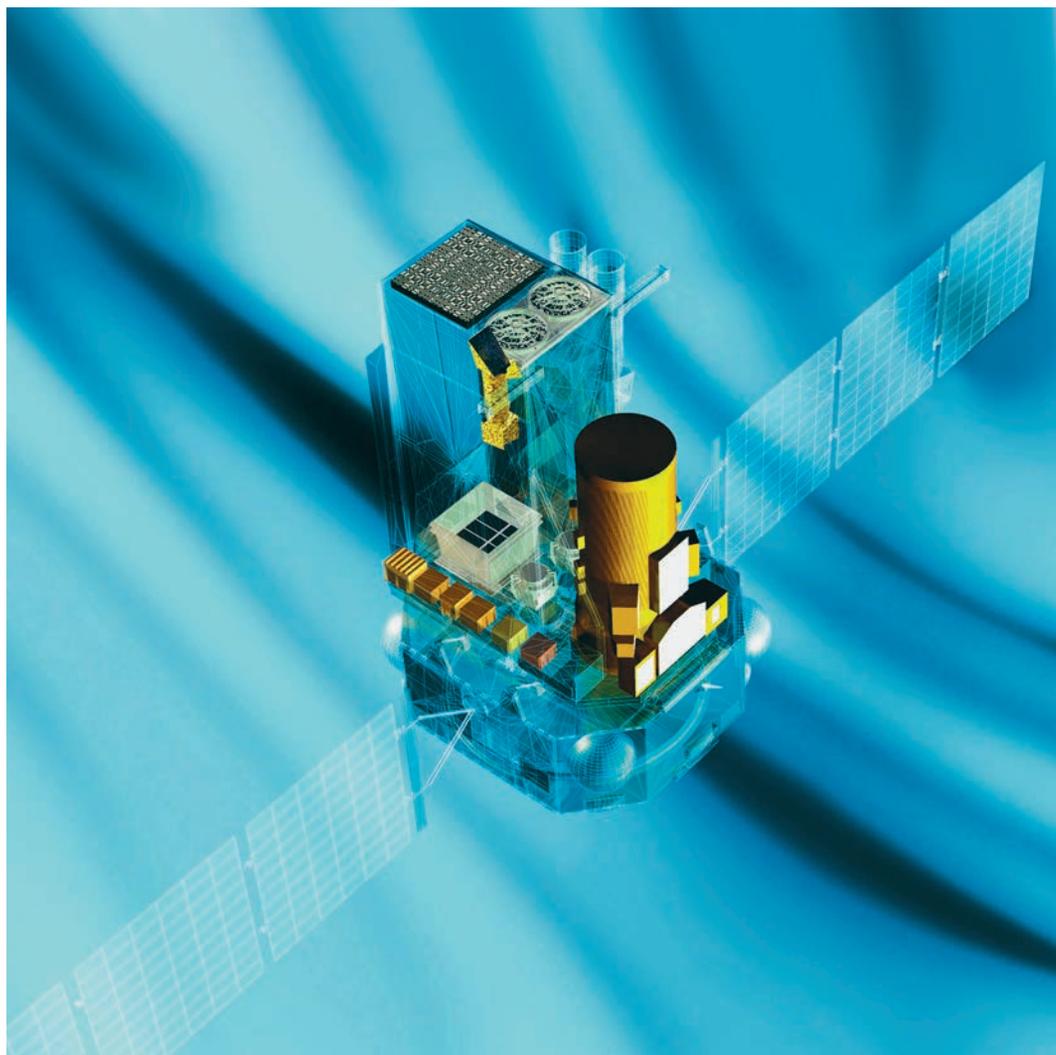
Изначально для вывода на орбиту спутника “Интеграл” рассматривалось три возможных варианта: запуск американским носителем, ев-

ропейской РН “Ариан-5” и российской РН “Протон”. В ходе переговоров с ESA российская сторона предложила, чтобы, если обсерваторию выведет на орбиту РН “Протон”, все дополнительное время наблюдений источников излучения принадлежало российским ученым. Европейцам не нужно будет оплачивать запуск, им гарантируется тот же объем наблюдений, какой был бы при использовании собственного носителя. Предварительные расчеты, выполненные сотрудником ИКИ кандидатом технических наук Н.А. Эйсмонт, показали, что “Протон” может запустить обсерваторию на орбиту, обеспечивающую в 1,5 раза больше наблюдательного времени, чем при запуске американским носителем. После напряженных переговоров с представителями ESA в ИКИ РАН было принято и закреплено соглашением между Росавиакосмосом и ESA компромиссное решение: Россия получает 25% наблюдательного времени. От нашей страны проект возглавил руководитель Отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН академик Р.А. Сюняев.

Обсерватория “Интеграл” была успешно выве-

дена на высокоапогейную орбиту 17 октября 2002 г. с космодрома Байконур с помощью ракеты-носителя “Протон” государственного космического научно-производственного центра им. Хруничева с разгонным блоком ДМ Ракетно-космической корпорации “Энергия” им. С.П. Королёва. Выведение обсерватории на промежуточную высокоэллиптическую орбиту, предложенную и рассчитанную Н.А. Эйсмонт, было выполнено с точностью, много лучшей гарантированных величин. Это позволило значительно сократить расход топлива при формировании окончательной орбиты двигателями космического аппарата и, с учетом оптимизации процедур управления ориентацией аппарата, дало возможность увеличить операционное время жизни обсерватории с пяти до почти 30 лет, при соблюдении всех требований по радиационной безопасности.

В январе 2015 г. двигатели обсерватории “Интеграл” скорректировали орбиту. Это первая и, как предполагается, единственная серия маневров коррекции, которая потребовалась, чтобы к 2029 г. “Интеграл” вошел



в атмосферу, разрушился, а его обломки упали вдали от населенных областей земного шара.

Запуск обсерватории “Интеграл” стал возможен благодаря многолетнему труду и поддержке специалистов и ученых Росавиакосмоса (в том числе его руководителя Ю.Н. Коптева и заместителя А.И. Медведчикова), ГКНПЦ им. М.В. Хруниче-

ва (прежде всего в лице генерального конструктора В.К. Карраска), РКК “Энергия” им. С.П. Королева, Российской академии наук (в частности, академики А.Е. Чудаков и Ю.А. Осипьян), ИКИ РАН.

ВОЗМОЖНОСТИ ОБСЕРВАТОРИИ

Основные приборы обсерватории – гамма-телескоп с кодирую-

Международная космическая астрофизическая обсерватория гамма-лучей “Интеграл”. Рисунок ESA.

щей апертурой IBIS (разработчики INAF/IASF, Италия и CEA-Saclay, Франция) и гамма-спектрометр SPI высокого энергетического разрешения (CESR, Франция и

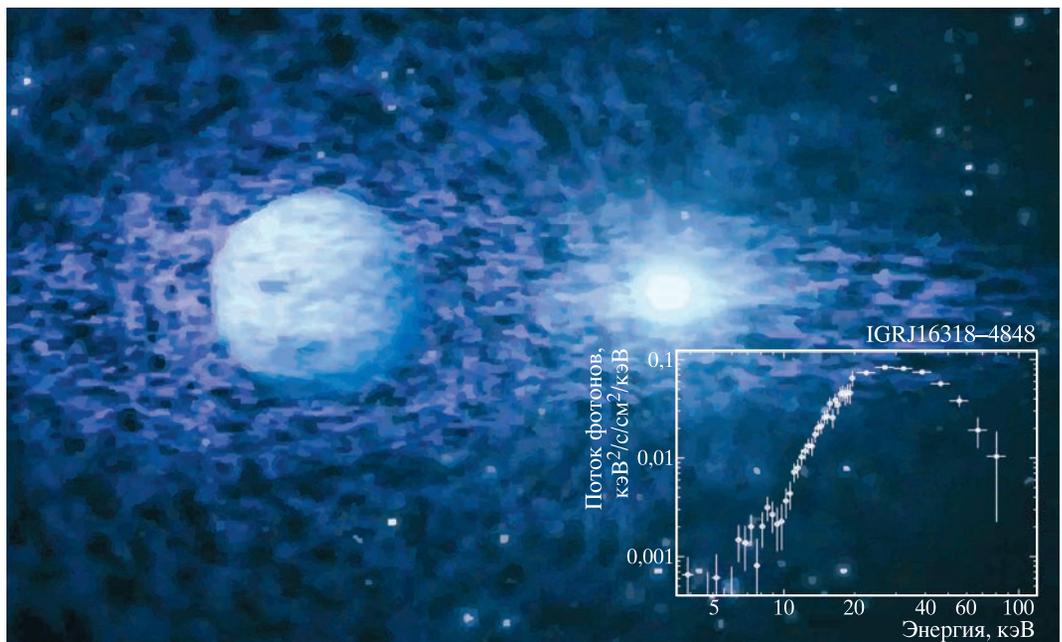
МРЕ, Германия), позволяющие строить изображения рентгеновского неба и проводить спектральный анализ излучения в диапазоне энергий 15 кэВ – 10 МэВ. В качестве вспомогательных приборов используются рентгеновский телескоп JEM-X (DSRI, Дания) и оптический монитор OMC (INTA/LAEFF, Испания). Основные телескопы “Интеграла” обозревают большие поля зрения –

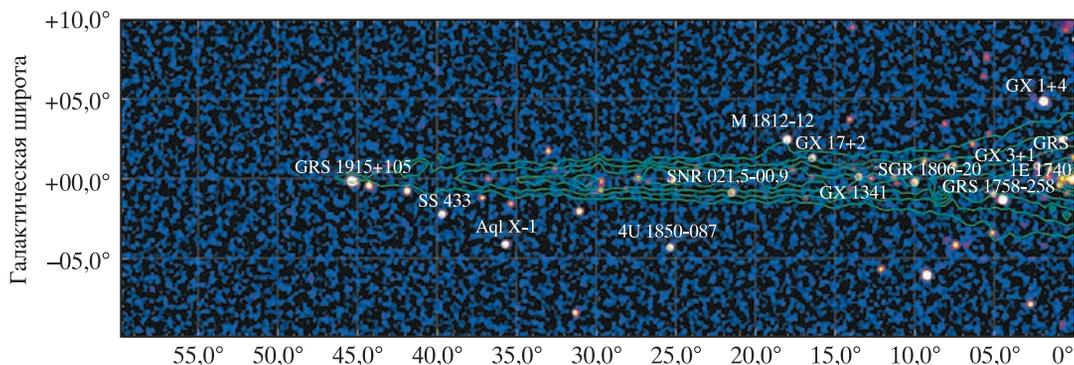
$30^\circ \times 30^\circ$, что позволяет следить одновременно за достаточно обширным участком неба. Приборы обсерватории обладают высокой чувствительностью, необходимой для детектирования фотонов таких больших энергий и построения изображений в жестком рентгеновском и мягком гамма-диапазоне. В настоящее время гамма-телескоп IBIS считается лучшим по разрешающей способности среди инструментов данного класса.

Обсерватория “Интеграл” предназначена для проведения сверхтонкой гамма-спектроскопии космического излучения и построения изображений неба в диапазоне энергий от 15 кэВ до 10 МэВ с недостижимой ранее чувствительно-

стью и угловым разрешением. Она позволяет локализовать все галактические и внегалактические источники, исследовать переменность и другие свойства их жесткого излучения и одновременно вести мониторинг в рентгеновском (3–35 кэВ) и оптическом (V-полоса) диапазонах. Это первая лаборатория в космосе, способная детально исследовать космическое излучение в линиях аннигиляции электрон-позитронных пар и в ядерных гамма-линиях, процесс взрывного нуклеосинтеза в сверхновых и новых. С помощью “Интеграла” впервые детально исследована та Вселенная, которая ранее была скрыта от наблюдателей.

Художественное изображение двойной системы с аккрецирующей нейтронной звездой и мощным звездным ветром. ESA. Во врезке – спектр излучения одной из таких систем. На энергиях ниже 10 кэВ излучение практически полностью поглощено веществом ветра. ИКИ РАН.





Карта центральной части Галактики, построенная по данным наблюдений телескопа IBIS космической обсерватории "Интеграл". ИКИ РАН.

Гамма-телескоп IBIS, предназначенный для построения изображений, использует метод кодирующих, или теневых, масок. Телескоп устроен так: над позиционно-чувствительным детектором фотонов устанавливается непрозрачная (например, вольфрамовая) пластина с прорезанными в определенном порядке отверстиями — это маска. Когда на телескоп падает поток фотонов, маска отбрасывает тень и на детекторе образуется своеобразный узор засвеченных и темных участков. По этому узору можно восстановить изображение неба в соответствующем диапазоне энергий.

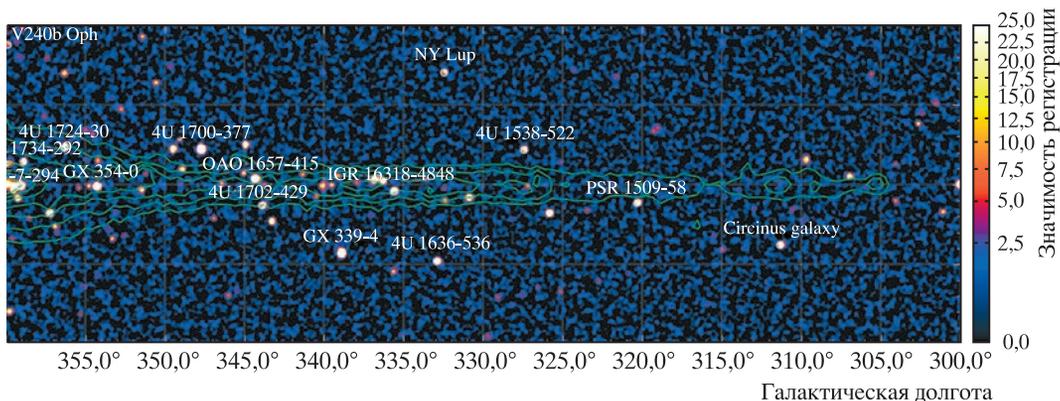
В проекте "Интеграл" впервые в России реализован принцип "национальной обсерватории". Это значит, что любой ученый из российского научного института, университета или обсерватории может подать

заявку на проведение наблюдения интересующего его небесного объекта или источника излучения. Если заявка будет одобрена российскими и европейскими комитетами по распределению наблюдательного времени, ученый сможет получить данные для наблюдений. Он обладает исключительным правом на использование этой информации и публикацию полученных научных результатов в течение года с момента поступления данных, затем они становятся доступными для всех желающих.

Научные данные, полученные в рамках квоты наблюдательного времени для нашей страны, поступают в Международный центр научных данных обсерватории "Интеграл" (ISDC, Женева, Швейцария), затем становятся доступными для отечественных ученых через Российский центр научных данных

(РЦНД), организованный в отделе астрофизики высоких энергий ИКИ РАН. Благодаря финансированию, выделенному Российской академией наук и Российским фондом фундаментальных исследований, а также поддержке со стороны Института, предоставившего специальные помещения и высокоскоростные каналы связи, в РЦНД организован архив данных, отвечающий самым современным требованиям. Архивные мощности представлены серверами, общий объем доступного дискового пространства превышает несколько десятков терабайт.

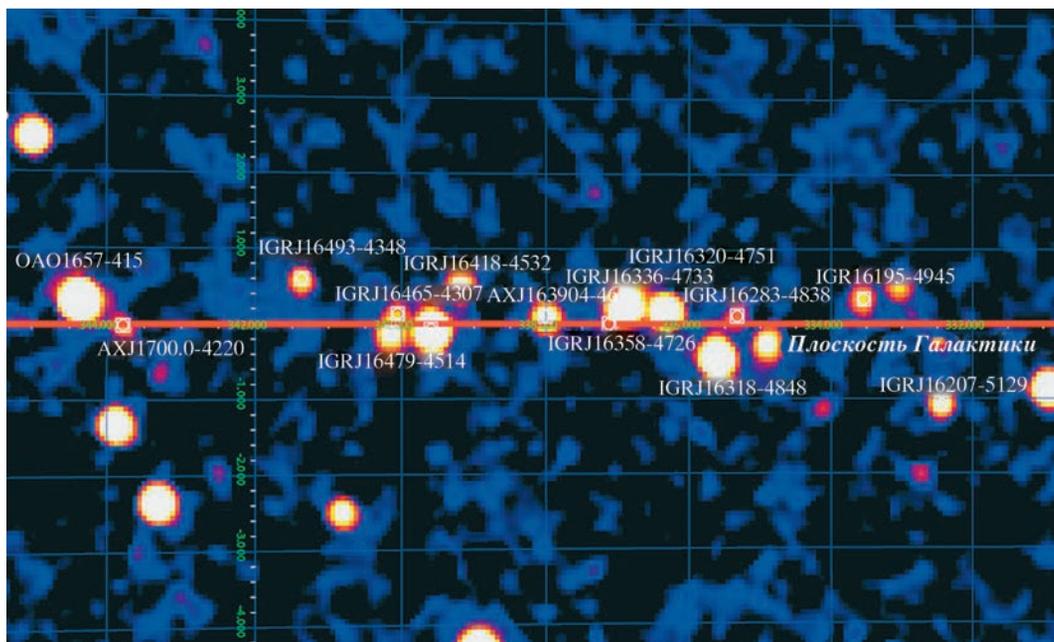
Поскольку данные обсерватории выкладываются в общий доступ после истечения однолетнего периода исключительного пользования заявителями наблюдений, с ними имеют возможность работать научные коллективы всего



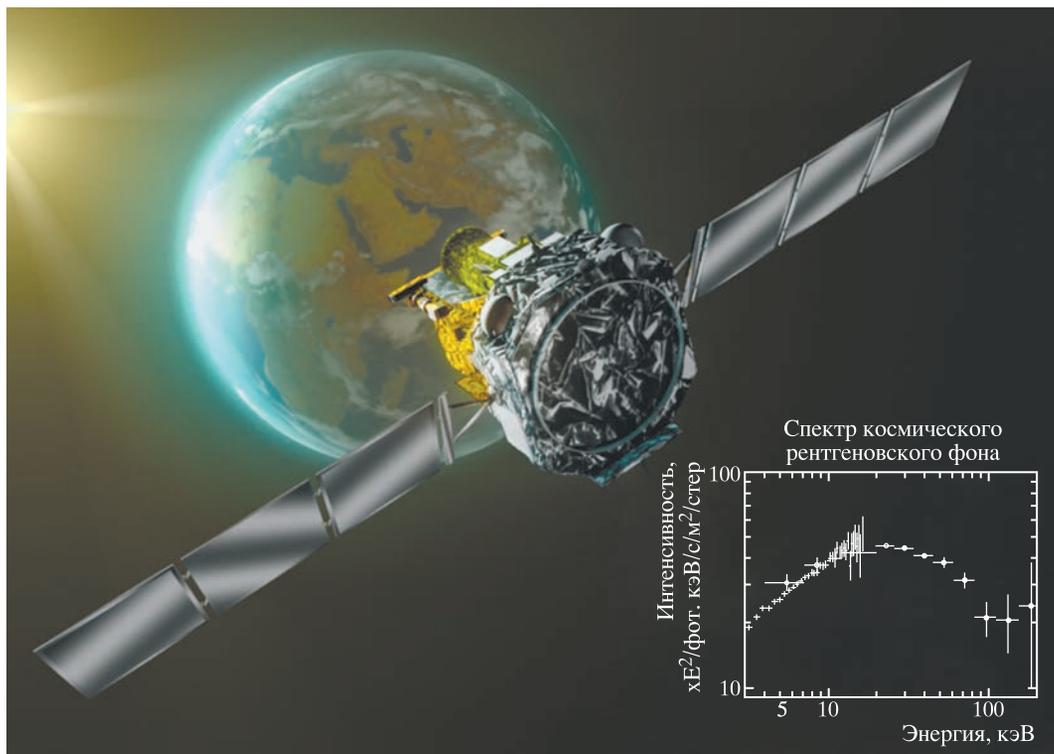
мира. Несмотря на связанную с этим высочайшую конкуренцию, ученые Отдела астрофизики высоких энергий ИКИ РАН смогли внести существенный, а в ряде

случаев решающий вклад в получение и интерпретацию результатов обсерватории. В течение 12 лет опубликовано более 250 статей российских ученых в ведущих

научных журналах мира, число ссылок на них превысило 4 тыс., защищено 12 диссертаций.



Карта области галактической плоскости в созвездии Наугольника. Источники с индексом IGR открыты во время наблюдений обсерватории "Интеграл". ИКИ РАН.



НОВЫЕ ОБЪЕКТЫ РЕНТГЕНОВСКОГО НЕБА

Наблюдения в жестком рентгеновском диапазоне энергий, проведенные с 2003 г. обсерваторией "Интеграл", позволили открыть несколько сотен новых рентгеновских источников и исследовать статистические свойства объектов разных классов. Это значительно (примерно в два раза) увеличило полное число жестких рентгеновских источников, известных на небе. В нескольких областях неба выполнены сверхглубокие наблюдения со временем экспозиции от нескольких мегасекунд до нескольких десятков

мегасекунд, позволившие достичь пределов возможностей телескопов с кодирующей апертурой. Ключевую роль в построении высококачественных рентгеновских изображений неба играют алгоритмы, разработанные членом-корреспондентом РАН Е.М. Чуразовым. За создание карт всего неба, составление и обновление каталога жестких рентгеновских источников отвечает кандидат физико-математических наук Р.А. Кривонос.

Уже первые наблюдения нашей Галактики обсерваторией "Интеграл" принесли открытие нового семейства нейтрон-

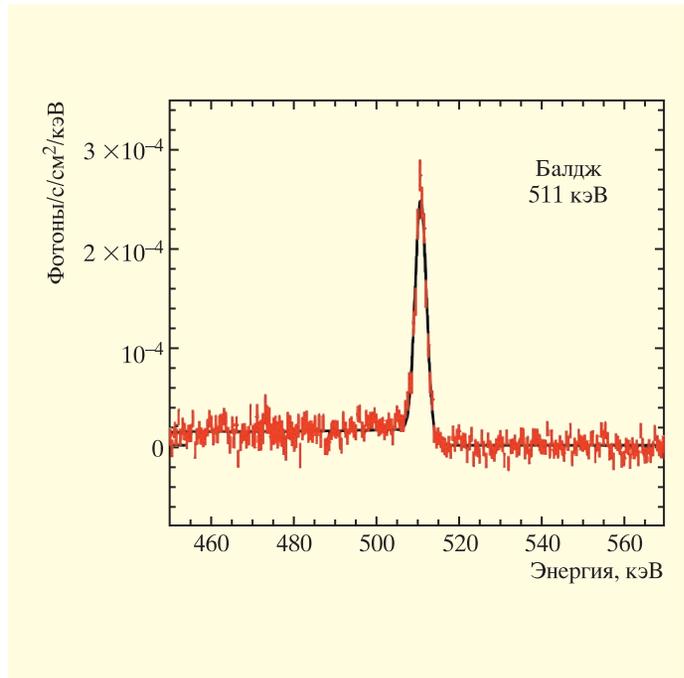
Так, по представлению художника, космическая обсерватория "Интеграл" наблюдала Землю. Измерения проведены с целью отделения инструментального фона детектора от космического фона Вселенной. ESA. Во врезке – спектр космического рентгеновского фона, полученный обсерваторией "Интеграл". ИКИ РАН.

ных звезд, окруженных "коконами" пыли и газа (доктор физико-математических наук М.Г. Ревнивцев с коллегами). Являясь яркими объектами жесткого рентгеновско-

Спектр излучения центральной области Галактики в окрестностях эмиссионной линии двухфотонной аннигиляции позитронов (511 кэВ). Избыток излучения низкоэнергетичной линии связан с трехфотонной аннигиляцией атома позитрония. ИКИ РАН.

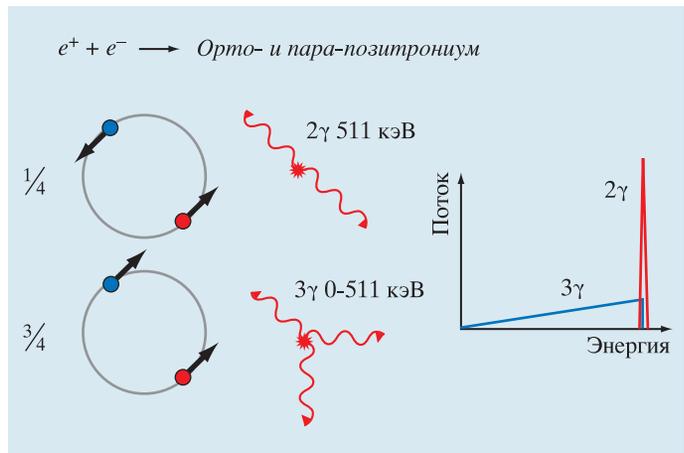
го неба, такие источники практически не видимы в обычном рентгеновском диапазоне (ниже 10 кэВ). Оказалось, что это двойные системы с нейтронными звездами, аккрецирующими вещество с молодых звезд с очень мощными ветрами. К настоящему времени “Интеграл” обнаружил уже несколько десятков таких источников. Кроме того, при активном участии сотрудников Отдела астрофизики высоких энергий был открыт новый класс массивных рентгеновских двойных систем, в которых нейтронные звезды, аккрецирующие вещество с массивных звезд, могут вспыхивать на короткое время, повышая свою яркость иногда в сотни и тысячи раз (доктора физико-математических наук С.А. Гребенев и А.А. Лу-

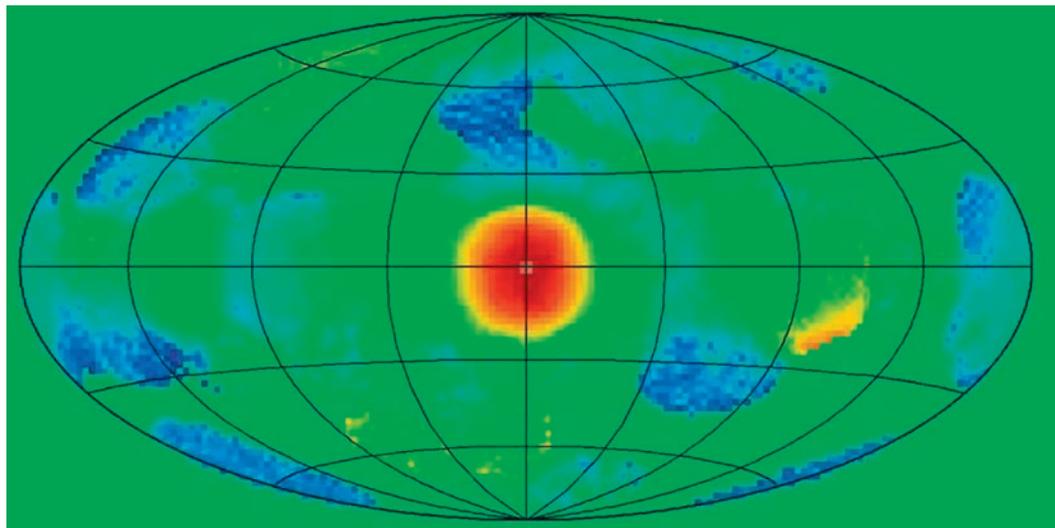
товин, кандидат физико-математических наук С.В. Мольков). Возможно, такие вспышки – результат эпизодического преодоления веществом звездного ветра центробежного барьера на границе магнитосферы нейтронной звезды.



товин, кандидат физико-математических наук С.В. Мольков). Возможно, такие вспышки – результат эпизодического преодоления веществом звездного ветра центробежного барьера на границе магнитосферы нейтронной звезды.

В ходе многолетнего обзора Галактики приборы обсерватории “Интеграл” зарегистрировали более сотни массивных рентгеновских двойных систем, почти половина из них ранее не наблюдались. Это позволило А.А. Лутовину,





Карта неба в области энергий 511 кэВ (в галактической системе координат). Хорошо видна концентрация излучения в направлении центра Галактики. ИКИ РАН.

М.Г. Ревнивцеву и их коллегам измерить распределение поверхностной плотности таких объектов в Галактике, показать, что оно коррелирует с локальным темпом звездообразования, и сравнить расположение массивных рентгеновских двойных систем с областями их предполагаемого образования.

Жесткий рентгеновский обзор неба, составленный по данным наблюдений обсерватории “Интеграл”, позволил провести первый систематический поиск активных ядер галактик второго типа. В других диапазонах длин волн эти объекты не видны за толстым слоем пыли и холодного газа. Обнаружено несколько десятков новых объектов такого типа. Для их исследования в России и других странах проводятся наблюдения на рентгеновских, опти-

ческих и инфракрасных телескопах. Интересный результат, полученный доктором физико-математических наук С.Ю. Сазоновым с коллегами, заключается в том, что относительная доля активных ядер второго типа падает с увеличением светимости.

Считается, что активные ядра галактик вносят основной вклад в космический рентгеновский фон – излучение, пронизывающее все космическое пространство. К сожалению, чувствительности современных жестких рентгеновских детекторов недостаточно, чтобы разрешать рентгеновский фон на отдельные источники в жестком диапазоне (>10 кэВ), на который приходится максимум его интенсивности. Однако важную недостающую информацию об истории роста сверхмассив-

ных черных дыр во Вселенной можно получить и другим способом – измеряя спектр жесткого рентгеновского фона. Специально для решения этой задачи ученые Отдела астрофизики высоких энергий ИКИ в 2006 г. инициировали уникальную программу наблюдений Земли обсерваторией “Интеграл”. Ненадолго обсерваторию развернули в сторону нашей планеты, сыгравшей роль гигантского экрана, на время закрывшего от приборов обсерватории излучение далеких источников, составляющих жесткий рентгеновский фон Вселенной. Е.М. Чу-

разову с коллегами по амплитуде затмения на разных энергиях впервые удалось построить спектр фона в диапазоне энергий от 3 до 150 кэВ с точностью около 10%.

“ИНТЕГРАЛ” ИССЛЕДУЕТ ГАЛАКТИКУ

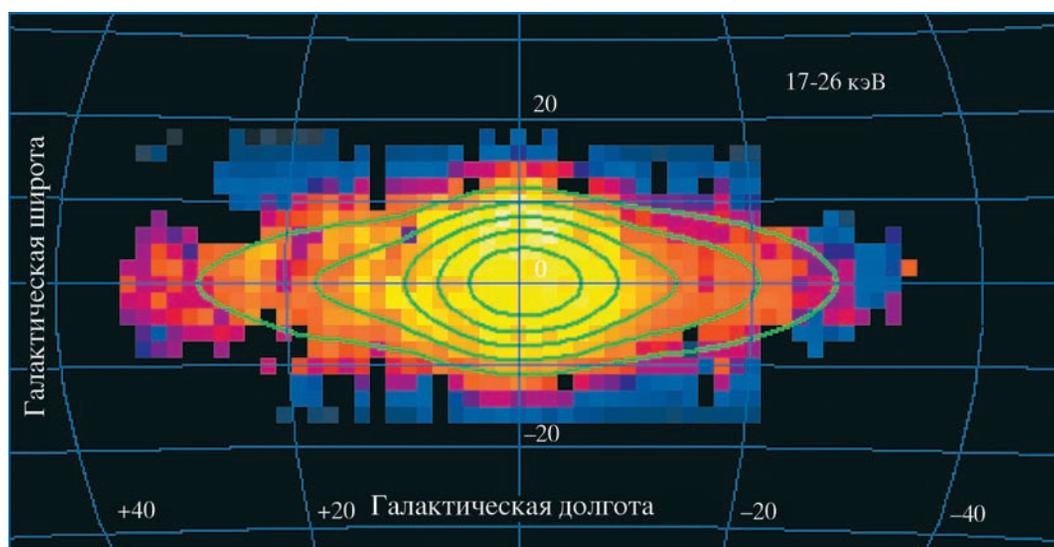
С помощью спектрометра высокого разрешения SPI Е.М. Чуразов с коллегами исследовали гамма-излучение центральной области (балджа) и диска нашей Галактики. В измеренных спектрах выделяются линии на энергиях 511 кэВ и 1,8 МэВ, свя-

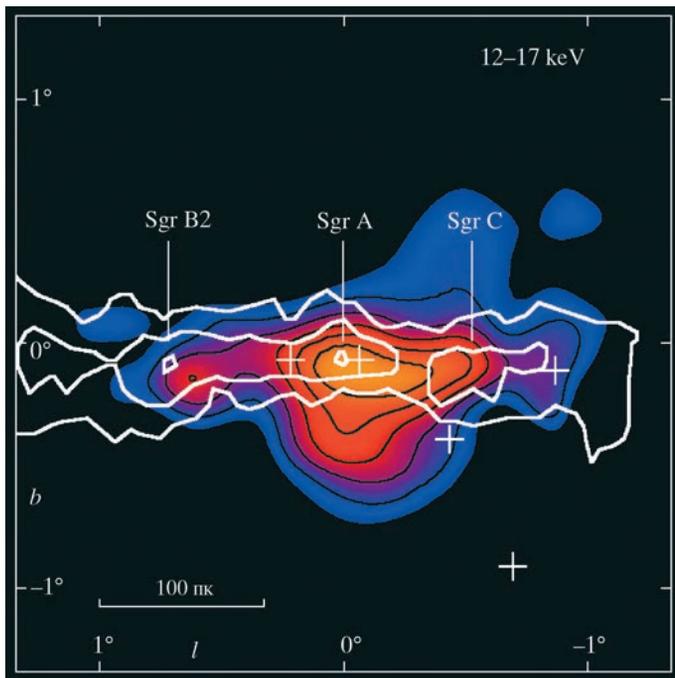
занные соответственно с аннигиляцией электрон-позитронных пар и распадом радиоактивного изотопа ^{26}Al , синтезируемого массивными звездами. Пространственные распределения интенсивности излучения этих линий разительно отличаются: линия 1,8 МэВ тяготеет к диску Галактики, где формируются молодые звезды, тогда как интенсивная аннигиляция позитронов происходит в центральной зоне Галактики. По ширине линии излучения 511 кэВ и относительной яркости трехфотонного континуума на энергиях ниже 511 кэВ было показано, что аннигиляция происходит в теплой, частично ионизованной межзвездной среде, причем не напрямую, а через образование позитрония – короткоживущей связанной системы (атома) из

электрона и позитрона. Наиболее вероятный поставщик позитронов – термоядерные взрывы сверхновых типа Ia. В них синтезируется радиоактивный изотоп ^{56}Ni , который производит позитроны в процессе распада $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$. Однако нельзя исключить и более экзотические сценарии рождения позитронов в центральной зоне Галактики. Важно отметить существенную роль, которую сыграли в обсуждении и интерпретации результатов по линии аннигиляции академики Д.А. Варшалович (ФТИ им. А.Ф. Иоффе) и В.В. Железняков (ИПФ РАН).

Большие поля зрения и одновременно хорошее угловое разрешение телескопов обсерватории “Интеграл” позволили детально изучить “хребет” Галактики – слабое

Карта “хребта” Галактики – слабого протяженного излучения вдоль галактической плоскости. Контурами обозначены области одинаковой поверхностной яркости Галактики в ИК-диапазоне. ИКИ РАН.





Изображение области центра Галактики в диапазоне энергий 12–17 кэВ, полученное телескопом АРТ-П обсерватории “Гранат”. Белые контуры показывают распределение молекулярного газа. Рентгеновское излучение, регистрируемое от молекулярного облака Sgr B2, рождается в результате отражения излучения, произведенного в прошлом сверхмассивной черной дырой Sgr A в центре Галактики. ИКИ РАН.

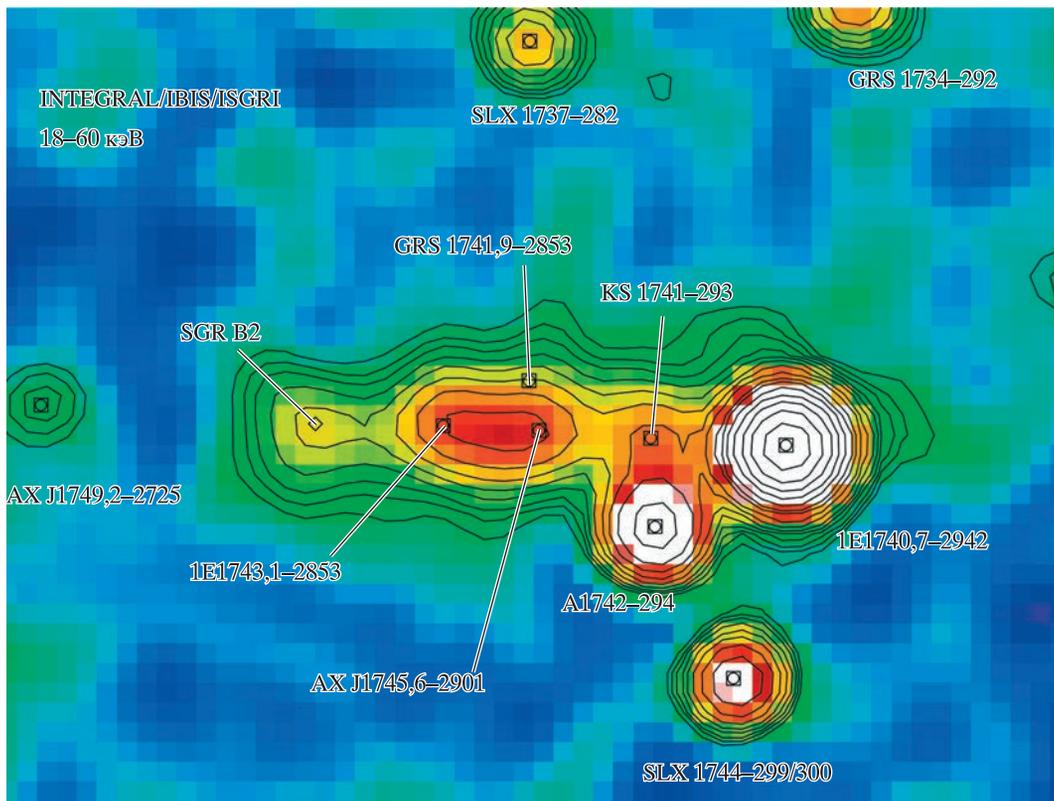
протяженное рентгеновское излучение вдоль галактической плоскости. Его природа оставалась загадкой в течение более четверти века. С помощью обсерватории “Интеграл” были впервые составлены карты и проанализированы спектры “хребта” Галактики. Р.А. Кривонос, М.Г. Ревнивцев и их коллеги смогли показать, что излучение “хребта” Галактики в жестком рентгеновском диапазоне энергий 10–60 кэВ представляет собой суммарное излучение миллионов аккрецирующих белых карликов. На более высоких энергиях (> 100 кэВ) вклад этих источников становится малым и в протяженном излучении Галактики начинает преобладать из-

лучение межзвездной среды.

Наконец, благодаря телескопу IBIS обсерватории “Интеграл” была подтверждена гипотеза, выдвинутая сотрудниками отдела еще в 1990-х гг., о том, что сверхмассивная черная дыра в центре нашей Галактики активно аккрецировала вещество примерно 300 лет назад, а сегодня мы можем наблюдать “эхо” этой активности.

Наблюдения, которые в 1990-х гг. проводила космическая обсерватория “Гранат” (Земля и Вселенная, 1989, № 3; 1993, № 6), показали, что рентгеновское излучение в центре нашей Галактики, где находится сверхмассивная черная дыра с массой $3\text{--}4 \times 10^6 M_{\odot}$,

очень слабое. Это означает, что сейчас наша черная дыра не активна, то есть практически не аккрецирует вещество. Но в ходе этих наблюдений было зарегистрировано протяженное жесткое (8–22 кэВ) рентгеновское излучение от гигантского молекулярного облака Sgr B2 в Стрельце, находящегося примерно в 100 пк от сверхмассивной черной дыры. Р.А. Сюняев, М.Л. Маркевич и М.Н. Павлинский предположили, что это излучение – отраженное молекулярным газом излучение черной дыры, которая раньше (около 300 лет назад) была примерно в миллион раз ярче, чем сейчас. Ученые предсказали существование переменного



Карта центра Галактики в диапазоне энергий 17–60 кэВ с основными источниками излучения. Среди них выделяется молекулярное облако Sgr B2. Свечение этой области, по всей видимости, формируется в результате отражения прошлого (300 лет назад) излучения центральной черной дыры в нашей Галактике. Изображение получено обсерваторией “Интеграл”. ИКИ РАН.

во времени излучения во флуоресцентной линии железа с энергией 6,4 кэВ.

Этот результат и предсказание спустя почти 15

лет блестяще подтвердились наблюдениями в жестких лучах обсерваторией “Интеграл”, во время которых было зарегистрировано рентгеновское излучение на энергиях 20–150 кэВ от молекулярного облака Sgr B2. Кроме того, в рентгеновских лучах наблюдалась предсказанная яркая линия с энергией 6,4 кэВ. В последующих наблюдениях обнаружено, что это излучение затухает на масштабе 10 лет.

Кроме “Интеграла” наблюдения проводили также с помощью космических обсерваторий “ASCA” (Япония, 1993–

2000), “BeppoSAX” (Нидерланды, 1996–2002), “XMM-Newton” (ESA, NASA; 1999) и “Чандра” (NASA, 1999).

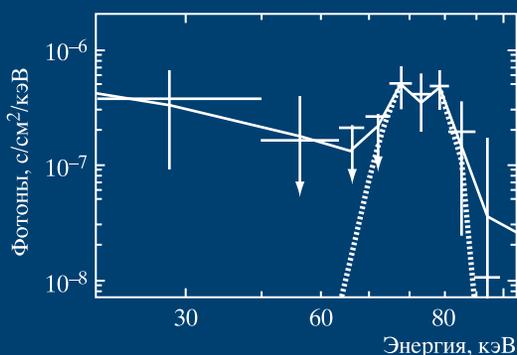
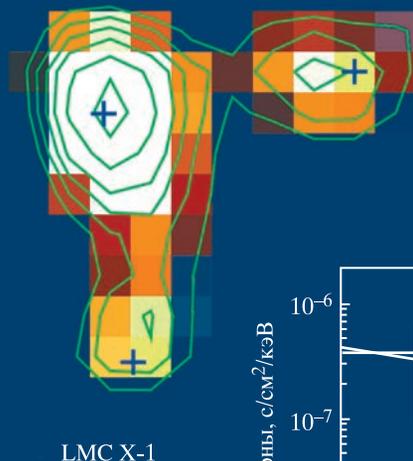
СВЕРХНОВЫЕ – СТАРЫЕ И НОВЫЕ

Отдел астрофизики высоких энергий ИКИ оказался “везучим” на редкие события – взрывы близких сверхновых. 23 февраля 1987 г. в ближайшей к нам галактике Большое Магелланово Облако (БМО) в 50 кпк от Солнца вспыхнула сверхновая, которая в пике яркости была видна на пределе чувствительности человеческого глаза.

SN 1987A

65–82 кэВ

PSR B0540–69



Сверхновая 1987А – самая яркая, вспыхнувшая за последние 400 лет, со времен Бориса Годунова (Земля и Вселенная, 1989, № 2; 2014, № 3, с. 43). Через месяц после этого события, 31 марта, в космос стартовал модуль “Квант” для орбитальной станции “Мир”. В комплекс научной аппаратуры модуля входила астрофизическая обсер-

ватория “Рентген”, созданная в ИКИ в широкой международной кооперации (Земля и Вселенная, 2000, № 6). Телескопы модуля “Квант” начали систематические наблюдения сверхновой 1987А. Было зарегистрировано ее рентгеновское излучение на энергиях, превышавших 20 кэВ, с очень жестким и необычным спектром,

Область неба вокруг сверхновой SN1987A в диапазоне энергий 65–82 кэВ. В этой области должно формироваться излучение в линиях 67,9 кэВ и 78,4 кэВ, связанное с распадом радиоактивного ⁴⁴Ti. Во врезке – спектр излучения из области вокруг SN1987A. ИКИ РАН.

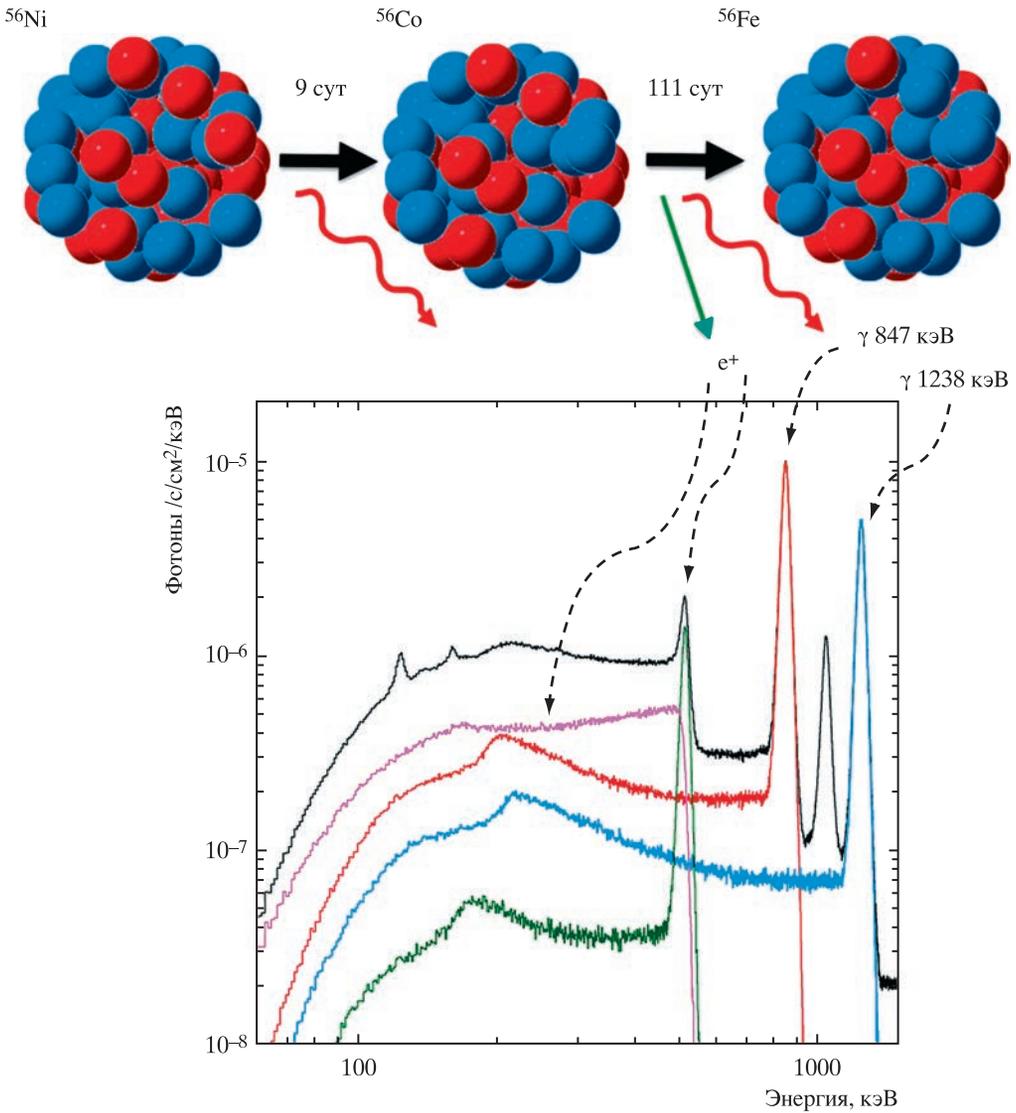


Схема цепочки распада радиоактивного никеля в кобальт и железо. Во врезке: ожидаемый спектр излучения сверхновой на 75-е сутки после взрыва (черная кривая); ожидаемый спектр комптоновского рассеяния линий: 847 кэВ (красная), 1238 кэВ (синяя), аннигиляции позитронов (зеленая), трехфотонной аннигиляции позитрония (сиреневая). ИКИ РАН.

который оказался очень похожим на результаты расчетов, проведенных в ИКИ С.А. Гребневым и Р.А. Сюняевым. Это позволило молодой команде Отдела астрофизики высоких энергий убедить западных коллег, что действительно наблюдается сигнал от взрыва сверхновой звезды, в ходе которого было

синтезировано около 7% массы Солнца в виде радиоактивного ^{56}Ni . Результаты наблюдений были опубликованы в журнале "Nature".

"Эстафету" наблюдений за Сверхновой 1987А продолжил "Интеграл". В результате проведения глубоких наблюдений Большого Магелланова Облака было

зарегистрировано жесткое рентгеновское излучение от остатка Сверхновой 1987А в линиях на энергиях 67,9 и 78,4 кэВ, связанное с распадом радиоактивного ^{44}Tl — еще одного, но долгоживущего изотопа, образовавшегося при взрыве (С.А. Гребенев, А.А. Лутовинов, С.С. Цыганков). Это первое прямое доказательство образования титана во время взрыва SN 1987А. Энергия, выделившаяся при распаде этого изотопа, в настоящее время обеспечивает все оптическое и инфракрасное излучение остатка сверхновой. В 2015 г. американская космическая обсерватория нового поколения “NuSTAR”, использующая в своей работе уникальные зеркала косоугольного падения, позволяющие фокусировать рентгеновское излучение до энергий 80 кэВ, подтвердила регистрацию линий титана в остатке SN 1987А.

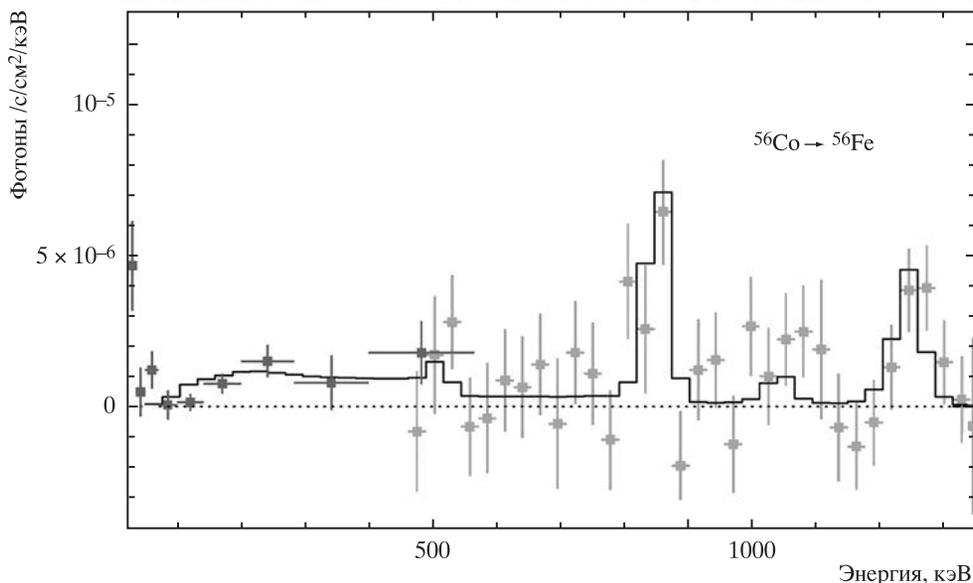
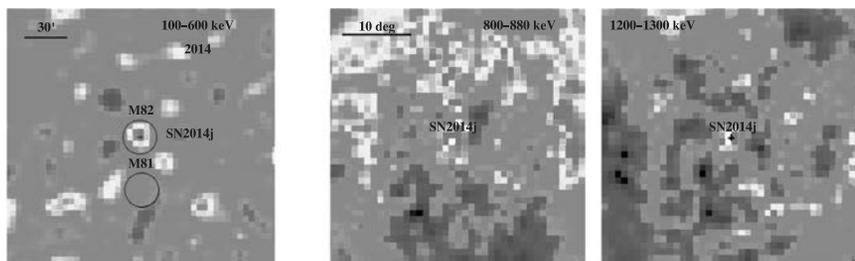
Сверхновая 1987А принадлежит к сверхновым II типа, которые образуются при коллапсе массивной звезды. Совсем недавно, 15 января 2014 г., в галактике M82 (NGC 3034) на расстоянии 3,5 Мпк от Млечного Пути взорвалась сверхновая типа Ia, названная SN2014J. Она оказалась самой близкой сверхновой этого типа за всю эпоху космических обсерваторий.

Сверхновые типа Ia связаны с термоядерными взрывами белых карликов с массой порядка чандрасекаровского предела ($1,4 M_{\odot}$). В процессе взрыва синтезируется большое количество радиоактивного ^{56}Ni , распад которого сопровождается излучением характерных линий в гамма-диапазоне. Высокая скорость разлета и небольшая масса оболочки должны приводить к раннему выходу гамма-излучения. При поддержке Российского научного комитета проекта “Интеграл” программа наблюдений была оперативно изменена, чтобы обеспечить максимальный приоритет исследованию сверхновой. Наблюдения в рамках российской квоты наблюдательного времени начались примерно через 50 сут после взрыва сверхновой (3–19 марта 2014 г.). Российские ученые предположили (и это подтвердилось), что примерно в это время можно будет зарегистрировать распад радиоактивного ^{56}Co при его превращении в ^{56}Fe . Ожидаемые гамма-кванты были зафиксированы гамма-спектрометром SPI обсерватории “Интеграл” в виде двух достаточно узких линий. Такое излучение в гамма-линии от сверхновых типа Ia отмечено впервые.

Считается, что тяжелые элементы (тяжелее углерода и кислорода)

во Вселенной образуются только при взрывах сверхновых, при которых выделяется достаточно энергии, чтобы их синтезировать и “выбросить” наружу. Именно сверхновые, обогатившие межзвездную среду кремнием, кальцием, железом, другими элементами этой группы, сделали возможным образование планет земного типа и зарождение жизни. В результате исследований с помощью обсерватории “Интеграл”, проведенных под руководством Е.М. Чуразова, удалось впервые напрямую подтвердить термоядерную природу таких сверхновых, измерить массу радиоактивного ^{56}Ni и скорость разлета и сравнить предсказания детальных моделей с наблюдаемыми спектрами в гамма-диапазоне (Е.М. Чуразов, Р.А. Сюняев, С.А. Гребенев, С.Ю. Сазонов).

Еще одно открытие, связанное со сверхновыми, относится к гамма-диапазону. Гамма-всплески до недавнего времени оставались одной из загадок астрофизики высоких энергий. Сейчас мы знаем, что по крайней мере часть из них связана со взрывами массивных звезд в далеких галактиках. Обсерватория “Интеграл” регистрирует и локализует примерно десять гамма-всплесков в год. Один из них (GRB 031203) попал 3 декабря 2003 г. в



Спектр SN 2014J, полученный обсерваторией "Интеграл" (50–100-е сутки после вспышки). Темные и светлые точки – данные приборов SPI и ISGR1/IBIS. Черная кривая – модель спектра сверхновой на 75-е сутки после взрыва. Вверху – изображения с источником гамма-излучения на месте SN 2014J, полученные обсерваторией "Интеграл". ИКИ РАН.

поле зрения телескопа IBIS. Наблюдения наземными оптическими телескопами позволили обнаружить послесвечение всплеска в галактике

($z = 0,11$) и сверхновую, связанную с всплеском. Анализ данных обсерватории "Интеграл", проведенный С.Ю. Сазоновым, А.А. Лутовиновым и Р.А. Сюняевым, показал, что, хотя временные и спектральные характеристики излучения GRB 031203 вполне обычные, его полная энергия не превышает 10^{50} эрг, это на три порядка меньше обычных значений. Тем самым получено указание на то, что такие слабые всплески могут происходить во Вселенной гораздо чаще "стандартных".

Необходимо отметить, что наряду с учеными ИКИ РАН замечательные результаты на основе данных обсерватории "Интеграл" были получены коллегами из других российских институтов. В частности, группа под руководством академика А.М. Черепашука и профессора К.А. Постнова (ГАИШ МГУ) неоднократно наблюдала затмения рентгеновского источника в системе SS433 со слаборелятивистскими джетами с целью определения массы релятивистского объекта. При участии доктора физи-

ко-математических наук Н.И. Шакуры и К.А. Постнова было открыто изменение со временем энергии циклотронной линии в известном пульсаре Геркулес X-1. Группа под руководством доктора физико-математических наук А.М. Быкова (ФТИ им. А.Ф. Иоффе) исследовала жесткие рентгеновские спектры молодых остатков вспышек сверхновых, связанных с ускорением космических лучей до ультравысоких энергий. Большую роль в определении природы источников, обнаруженных обсерваторией “Интеграл”, сыграли группа под

руководством профессоров Н.А. Сахибуллина и И.Ф. Бикмаева (КФУ), а также коллеги из САО РАН.

В 2014 г. специальная комиссия ESA, рассмотрев полученные результаты и возможные перспективы, признала работу обсерватории “Интеграл” успешной и требующей продолжения. Решением ESA финансирование обсерватории (управление спутником, прием и передача данных, наземная поддержка) гарантировано до конца 2016 г. с возможностью его продления. Важную роль в этом решении

сыграли результаты, полученные российскими учеными, в частности открытие сотрудниками Отдела астрофизики высоких энергий гамма-излучения радиоактивного ^{56}Co от сверхновой типа Ia (SN2014J) в галактике M82 и ^{44}Ti от Сверхновой 1987A в галактике БМО. Принимая во внимание оставшиеся запасы топлива на борту и хорошее состояние телескопов, есть все основания полагать, что обсерватория “Интеграл” будет работать на орбите еще несколько лет, а значит, ученых ждут новые неожиданные открытия.

Новые книги

Из истории космонавтики

Книга *С.Н. Славина* “Космическая битва империй. От Пенемюнде до Плесеца” (М.: Вече, 2015) посвящена истории развития отечественной и зарубежной космонавтики. Автор в популярной форме рассказывает о малоизвестных фактах освоения космоса. Читатель узнает о первых проектах космических двигателей и кораблей, многочисленных трудностях, которые человечество преодолело на пути в неведомое.

Познакомится с первыми, порой фантастическими, доктринами использования околоземного космического пространства, с устройством первых спутников, межпланетных станций, пилотируемых кораблей и орбитальных станций.

В книге шесть глав. Глава “Первые пуски” рассказывает о теоретических работах основоположников космонавтики, обществах межпланетных сообщений, ракетных организациях и создании баллистической ракеты Фау-2. Во второй, «...И тогда полетел спутник», затрагиваются проблемы создания первых ракет и спутников, исследования околоземного космоса, приводятся сведения о программе “Спираль”. Третья, “Эпоха Королёва и Гагарина”, повествует о полетах по программам “Восток” и “Восход”, трагедиях при испытаниях КК “Союз-1” и “Аполлон-1”. Четвертая, “На прицеле – Селена”, знакомит читателя с американскими пилотируемыми программами “Джемини” и “Аполлон”, советскими лунными программами Л-3 и “Луноход”. В пятой, “Форты на орбитах”, излагается история орбитальных станций серии “Салют”, “Скайлэб” и “Мир”. В заключительной, “Еще о “звездных войнах”», можно прочитать о программах “Спейс Шаттл”, “Буря” и СОИ, астероидно-кометной опасности.

Книга адресована всем, кто интересуется освоением космоса и историей ракетно-космической техники.



Методы исследований экзопланет и новые инструменты

В.И. АНАНЬЕВА
ИКИ РАН

Хотя за последние годы число известных внесолнечных планет приблизилось к двум тысячам, большинство планет даже у самых близких звезд не обнаружены (Земля и Вселенная, 2006, № 4; 2007,



№ 4; 2008, № 2; 2009, № 1; 2010, № 4). В 2020–2030-е гг. начнут работу уникальные наземные инструменты и космические обсерватории, которые обеспечат прорыв в знаниях о планетах других звезд.

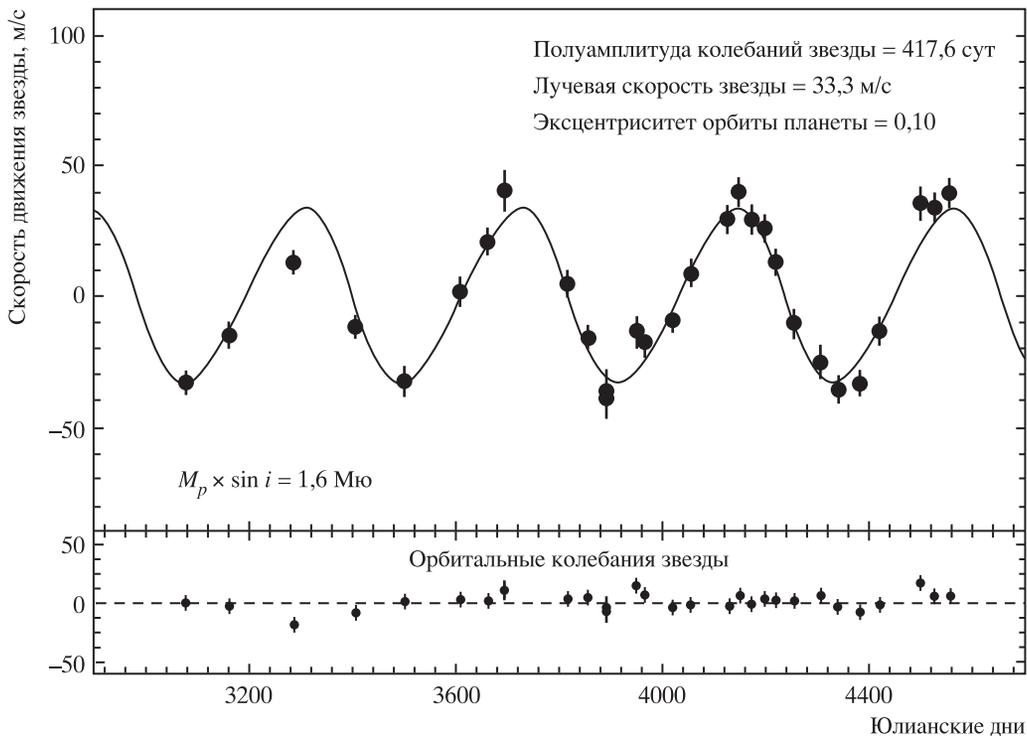
МЕТОД ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ

За два десятилетия, прошедшие с момента открытия первой внесолнечной планеты у нормальной звезды, наши знания о планетных системах других звезд значительно расширились. К апрелю 2015 г. идентифицировано свыше 1800 экзопланет более чем в 1200 системах, их список продолжает попол-

няться почти ежедневно (Земля и Вселенная, 2012, № 6; 2014, № 5). У многих экзопланет нет аналогов в Солнечной системе, некоторые настолько необычны, что их существование считалось невозможным. Так, существуют планеты-гиганты, вращающиеся на расстоянии всего нескольких звездных радиусов и нагретые до высоких температур, планеты на высокоэллипти-

ческих, ретроградных или даже полярных орбитах, планеты, вращающиеся вокруг пары звезд как целого, и, наконец, испаряющиеся планеты, за которыми тянется густой шлейф силикатной пыли.

Чтобы понять, какие инструменты необходимы для исследований экзопланет, надо выяснить, какими способами их ищут сейчас и какие ограничения накладыва-



ет каждый из этих способов.

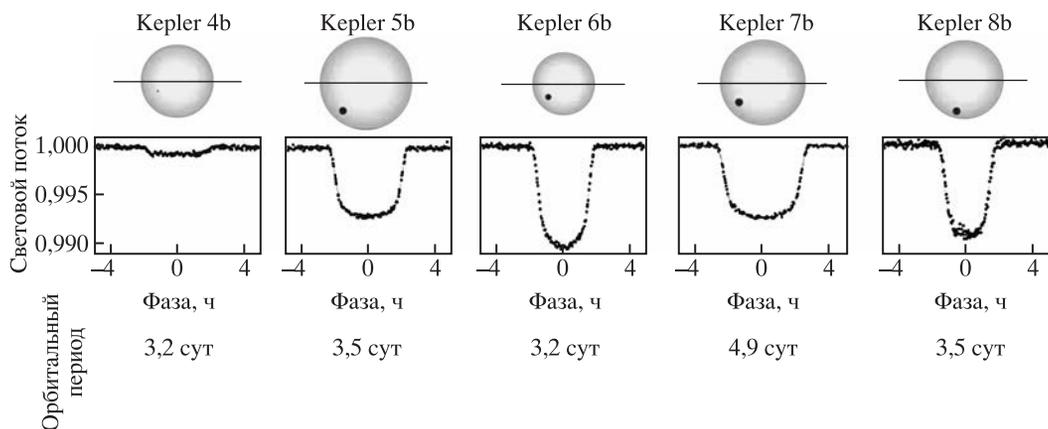
Исторически сложилось, что самым распространенным стал метод измерения радиальных, или лучевых, скоростей родительских звезд (его еще называют RV-методом – от слов radial velocity). Он основан на том, что, строго говоря, не планета вращается вокруг звезды, а звезда и планета вращаются вокруг общего центра масс. Звезда, обладающая планетной системой, будет двигаться по своей небольшой орбите из-за гравитационного влияния планет. Это можно зафиксировать с помощью прецизионных астрометрических изме-

рений или очень точно измеряя лучевые скорости звезды (скорости вдоль луча зрения). Лучевые скорости звезды измеряются по еле заметному смещению линий в ее спектре относительно линий в спектре лабораторного эталона (как правило, в этом качестве выступают пары йода). Точность лучших современных спектрографов HARPS (установлен на 3,6-м телескопе в Европейской Южной Обсерватории Ла-Силья в Чили), HARPS-N (3,6-м телескоп Галилея в Обсерватории Ла Пальма на Канарских островах), HIRES (10-м телескоп Обсерватории им. Кека на Гавайях) и PFS (6,5-м

График колебаний лучевой скорости звезды HD 167042 (созвездие Дракона, 163 св. лет от нас), вызванных планетой-гигантом HD 167042 b массой 1,7 $M_{\text{Ю}}$. NASA.

телескоп Магеллан II в Чили), достигает 0,8–1 м/с.

Много это или мало? Для сравнения: планета-гигант (“горячий юпитер”) на тесной орбите может наводить на свою звезду колебания лучевой скорости с амплитудой 50–200 м/с. Юпитер наводит на Солнце колебания с амплитудой до 12,7 м/с и периодом 11,857 земного года, Сатурн – с амплитудой 2,75 м/с и периодом 29,4 земного года. Влияние на Солнце планет земного типа гораздо



Кривые блеска нескольких звезд во время транзитов планет по их диску. Глубина транзита пропорциональна величине $(R_{pl}/R_{star})^2$, по мере уменьшения размеров транзитной планеты она быстро уменьшается. По данным космической обсерватории "Кеплер". NASA.

меньше – амплитуда соответствующих колебаний не превышает 0,1 м/с. Все это говорит о том, что метод измерения лучевых скоростей хорош для поиска планет-гигантов и мало применим к экзопланетам земного типа. Действительно, к апрелю 2015 г. этим способом было открыто 579 планет в 436 системах, подавляющее большинство из них – планеты-гиганты.

Если бы какая-нибудь инопланетная цивилизация, по уровню развития равная нашей, искала планеты в Солнечной системе, измеряя лучевые скорости Солнца,

при современном уровне развития наблюдательной техники она, скорее всего, смогла бы найти лишь Юпитер и на пределе возможного – Сатурн.

Существенный недостаток метода измерения лучевых скоростей – нельзя измерить точную массу планеты. Можно определить только минимальную массу, то есть произведение $m_p \times \sin i$, где m_p – истинная масса планеты, i – наклонение орбиты планеты к лучу зрения. Если это наклонение неизвестно (так и бывает в большинстве случаев), из наблюдений колебаний лучевой скорости звезды мы можем получить только нижний предел на массу планеты. Это легко понять: одно и то же колебание лучевой скорости может быть вызвано как сравнительно маломассивной планетой, чью орбиту мы видим "с ребра", так и планетой большой массы, чья орбита расположена к нам практиче-

ски плашмя. Несколько объектов, зарегистрированных по колебаниям лучевых скоростей родительской звезды и считавшихся планетами, впоследствии оказались коричневыми карликами и даже маломассивными звездами.

ТРАНЗИТНЫЙ МЕТОД ПОИСКА ПЛАНЕТ

Другой метод, транзитный, – единственный позволяющий с высокой достоверностью заметить экзопланеты. С его помощью их открыто более 1200. Если наклонение орбиты внесолнечной планеты к лучу зрения близко к 90° (система наблюдается "с ребра"), становится возможным наблюдение транзитов – проходов планеты по диску своей звезды, приводящих к регулярным незначительным ослаблениям ее блеска. Транзит планеты-гиганта радиусом 9–15 R_3 обычно ослабляет блеск звезды, подобной Солнцу, на

1–2%, транзит “нептуна” радиусом около $4 R_3$ – на 0,13%, транзит близких по размеру Земли – всего на 0,0084%. Очевидно, что для поиска небольших экзопланет методом транзитов нужна исключительная точность фотометрических наблюдений.

Впервые транзит внесолнечной планеты наблюдался в 2000 г. Так был найден “горячий юпитер” HD 209458 b в созвездии Пегаса (153 св. года от нас), за год до этого открытый с помощью измерения лучевых скоростей родительской звезды (Земля и Вселенная, 2002, № 5). Измерения, проведенные независимо обоими методами, позволили определить точную массу и радиус этой планеты, а значит, и ее среднюю плотность. Именно этим хороши транзитные планеты: для многих из них можно определить важнейшие характеристики – массу и радиус.

Поиск внесолнечных планет путем наблюдения транзитов осложнялся тем, что наблюдать транзиты приходилось сквозь беспокойную земную атмосферу. При наземных наблюдениях точность фотометрии обычно не превышает 0,2–0,3%, более слабые транзитные сигналы зашиваются атмосферными мерцаниями. Подавляющее большинство экзопланет, найденных в

ходе наземных транзитных обзоров Super WASP, HATNet, TrES и др., – “горячие юпитеры” (типичная экзопланета данного класса расположена на расстоянии порядка 0,05 а. е. от звезды и нагрета до 1000–3000 К; Земля и Вселенная, 2004, № 6, с. 40).

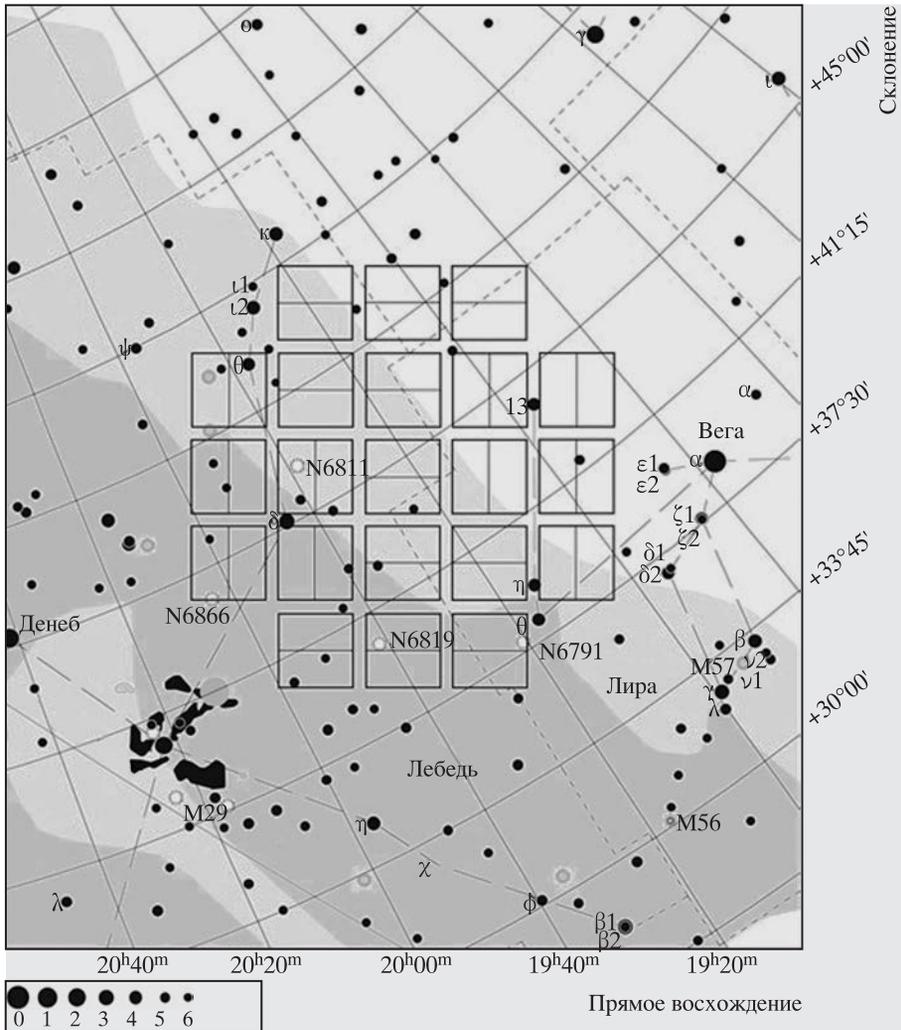
СПЕЦИАЛЬНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ

Для поиска небольших планет необходимы космические обсерватории. В декабре 2006 г. была запущена европейская космическая обсерватория “COROT”, в марте 2009 г. – американская “Кеплер” (Земля и Вселенная, 2007, № 5, с. 61; 2009, № 4, с. 44–45). Хотя “COROT” открыла два с половиной десятка планет (большая часть “горячие юпитеры”), основные наши знания о планетных системах Галактики были получены с помощью “Кеплера” (Земля и Вселенная, 2011, № 6; 2014, № 3, с. 91).

Космическая обсерватория “Кеплер” выведена на гелиоцентрическую орбиту, близкую к земной, с периодом 372,5 сут. Она медленно удаляется от Земли, отставая от нее в орбитальном движении. Диаметр главного зеркала телескопа – 0,95 м, площадь поля зрения близка к 105 квадратным градусам. В течение четырех

лет (с мая 2009 г. по май 2013 г.) телескоп непрерывно наблюдал одну и ту же область неба, называемую “полем Кеплера”, расположенную в районе созвездий Лебедя и Лиры.

Точность фотометрии “Кеплера” для сравнительно ярких звезд достигала 20–30 ppm (1 ppm – одна миллионная доля)! За время наблюдений “поля Кеплера” было обнаружено более 4600 надежных транзитных кандидатов, подтверждена планетная природа 1019 из них (на конец апреля 2015 г.). “Кеплер” выявил резкое увеличение числа планет по мере уменьшения их размеров ($N \sim R_p^{-2}$). Как оказалось, небольших планет (земного типа, суперземель и “нептунов”) гораздо больше, чем планет-гигантов! Кроме того, обсерватория нашла плоские плотно упакованные компактные системы (Земля и Вселенная, 2015, № 1, с. 75–76), в которых орбиты 4–5 планет проходят глубоко внутри орбиты Меркурия. Еще одним неожиданным открытием стали необычные “газовые карлики” – планеты с массами всего в 2–3 раза больше массы Земли, но со средней плотностью, много меньшей плотности воды (для сравнения: средняя плотность Земли превышает плотность воды в 5,5 раза). Согласно данным, полученным “Кеплером”, больше по-



Поле обзора неба космической обсерваторией "Кеплер" в районе созвездий Лебеда и Леры. NASA.

ловины звезд галактического диска имеют планетные системы (а может, и вообще все).

Однако и у транзитного метода есть недостатки. Главным считается низкая вероятность

транзитной конфигурации. Геометрическая вероятность того, что с точки зрения земного наблюдателя планета пройдет по диску своей звезды, близка к R_{star}/a , где R_{star} – радиус звезды, a – большая полуось орбиты планеты. Для "горячих юпитеров" эта величина близка к 10%, с увеличением расстояния между планетой и звездой она быстро падает.

Так, геометрическая вероятность транзитной конфигурации Земли относительно Солнца составляет всего 0,47%. Это значит, что в среднем из 213 планет, похожих на Землю, у звезд такого же размера, как Солнце, только одна планета окажется транзитной с точки зрения земного наблюдателя, остальные пройдут выше или ниже диска своей звезды.

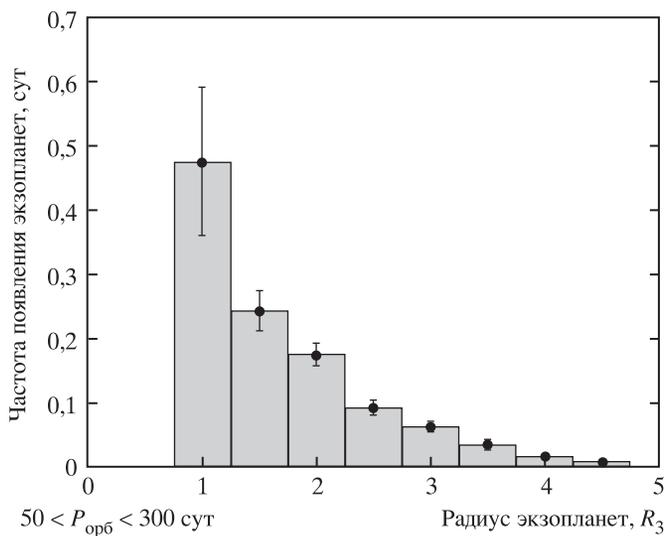


График распространенности экзопланет в зависимости от расстояния от нас. Их количество быстро растет по мере уменьшения размеров планет. По данным космической обсерватории “Кеплер”. NASA.

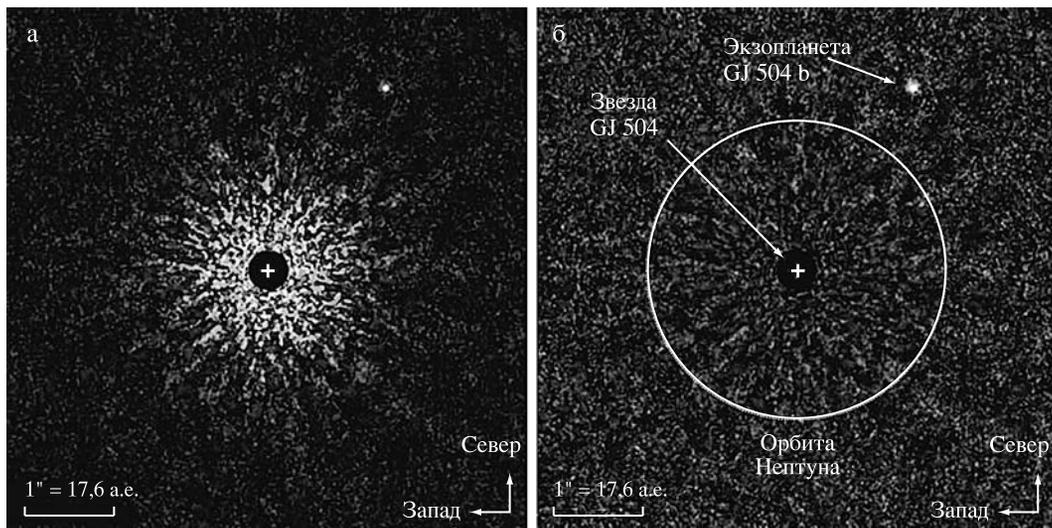
своим свойствам между звездами и планетами-гигантами (Земля и Вселенная, 2001, № 1, с. 104). Например, система из четырех экзопланет HR 8799 b, c, d, e у звезды HR 8799 в созвездии Пегаса открыта этим методом в 2008–2010 гг. на инфракрасных снимках, полученных с помощью 10-м телескопа Кек II Обсерватории им. Кека, Гавайи.

Важнейший недостаток поисков планет на инфракрасных снимках заключается в том, что они не дают возможности “увидеть” обычные холодные планеты возрастом более нескольких сотен миллионов лет и уже достаточно остывшие. Так, наблюдая Солнечную систему с расстояния в несколько десятков световых лет с помощью современных инфракрасных телескопов, астрономы не нашли бы ни одной планеты. Но будущее, несомненно, именно за этим методом. Когда-нибудь мы сможем получать изображения и спектры внесолнечных планет так же, как сей-

Если бы “Кеплер” смотрел на Солнечную систему с расстояния менее 100 пк и ему посчастливилось бы оказаться вблизи плоскости эклиптики, за четыре года наблюдений он смог бы уверенно распознать Венеру. Меркурий слишком мал, чтобы дать заметный транзитный сигнал, а Земля сделала только три оборота вокруг Солнца (соответственно, наблюдалось бы только три транзитных события, что мало для надежной регистрации такой небольшой планеты, как наша).

Если транзитный метод эффективнее всего “ловит” планеты на тесных орбитах, то есть близких к звезде, получение прямых изображений (imaging) лучше всего подходит для поиска молодых горячих планет, удаленных от своей звезды на десятки и сотни астрономических

единиц. В этом случае наблюдения ведутся в ближнем ИК-диапазоне в полосах J, H, K_s и L', соответствующих 1,2; 1,6; 2,2 и 3,8 мкм. Конечно, речь не идет о регистрации планет, светящихся отраженным светом своей звезды, как все планеты Солнечной системы, а, скорее всего, о молодых массивных планетах-гигантах – источниках собственного теплового излучения. Как правило, возраст этих планет всего несколько десятков миллионов лет и они нагреты до 800–1800 K, их массы составляют 4–12 M_J. Самой прохладной планетой стал гигант GJ 504 b, чья масса оценивается в 4 M_J, температура составляет всего 510 K. Уже получены снимки двух десятков внесолнечных планет и трех десятков коричневых карликов – объектов, промежуточных по



Экзопланета GJ 504 b – газовый гигант, обращается вокруг звезды солнечного типа 59 Девы (GJ 504), удаленной на 58 св. лет от нас. Снимки получены 22 мая 2011 г. (а; $\lambda = 1,6$ мкм) и 12 апреля 2012 г. (б; $\lambda = 1,2$ мкм) на 8,2-м телескопе Субару с помощью системы адаптивной оптики HiCIAO. Японская национальная астрономическая обсерватория, Гавайи.

час планет Солнечной системы и их спутников!

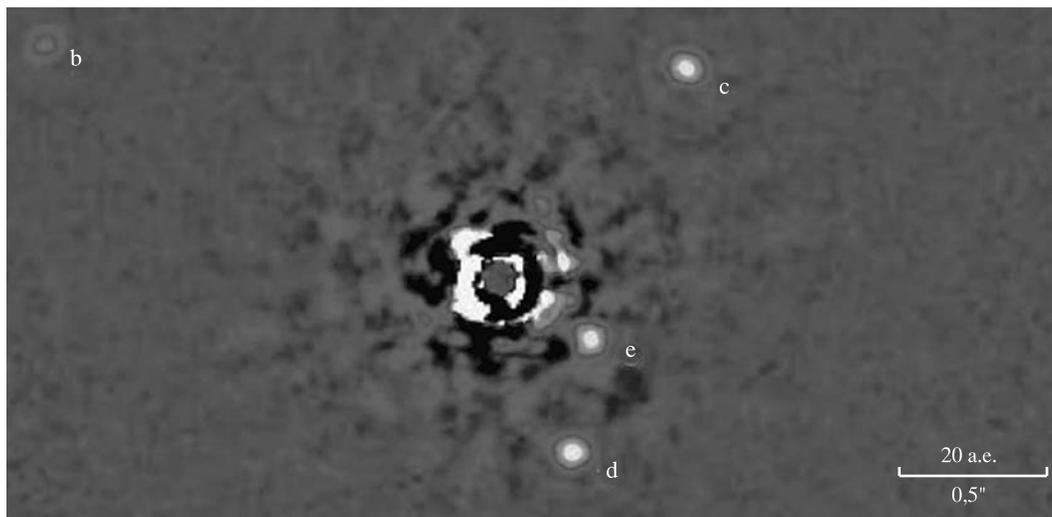
ДРУГИЕ МЕТОДЫ ПОИСКА ЭКЗОПЛАНЕТ

Специалисты пользуются еще одной возможностью для поиска внесолнечных планет – гравитационным микролинзированием. Эффект гравитационного микролинзирования происходит, когда три объекта – звезда-источник,

звезда-линза и наблюдатель – оказываются почти точно на одной прямой. Гравитационное поле звезды-линзы искривляет лучи звезды-источника, что приводит с точки зрения наблюдателя к усилению (иногда в десятки и сотни раз!) видимого блеска последней. Анализируя кривую блеска, можно оценить массу звезды-линзы, ее скорость поперек луча зрения и другие параметры. Если же рядом со звездой-линзой есть планеты, их гравитационное поле внесет искажения в итоговую кривую блеска – на характерной симметричной кривой появятся дополнительные пики и провалы.

Большое достоинство гравитационного микролинзирования – для него совершенно не важна светимость объекта-линзы. С его помощью можно зарегистрировать очень

холодные планеты, значительно удаленные от своих звезд, и даже свободно плавающие “планеты-бродяги”, выброшенные из своих систем в результате гравитационных возмущений (Земля и Вселенная, 2001, № 1, с. 111; 2011, № 5, с. 77; 2014, № 1, с. 82). Основной недостаток этого метода – звезда-источник исключительно редко оказывается на одном луче зрения с объектом-линзой и земным наблюдателем. Именно поэтому поиск событий микролинзирования происходит на богатых звездных полях в направлении на центр Галактики. Планеты, открытые таким образом, как правило, оказываются на удалении нескольких килопарсек от Солнца. Сейчас известно 33 экзопланеты, обнаруженные методом гравитационного микролинзирования, большинство



из которых принадлежит к красным карликам – самым многочисленным звездам Галактики. Дальнейшее изучение вновь открытых планет сильно затруднено из-за их удаленности и низкого блеска родительских звезд. Метод хорош для набора статистики, но не для изучения конкретных систем.

Астрометрия – четвертый способ поиска экзопланет. Фактически он дополняет RV-метод. С помощью астрометрии ученые измеряют не колебания лучевой скорости родительской звезды, вызванные гравитационным влиянием планеты, а смещения положения звезды на небесной сфере, обусловленные той же причиной. До сих пор этим методом надежно не зарегистрировано ни одной экзопланеты (несколько открытий, анонсированных

за последние годы, не подтвердились). Причина заключается в исключительно малом смещении под действием экзопланет даже самых ближайших звезд. Так, аналог Юпитера у звезды, подобной Солнцу, расположенной на расстоянии 1,33 пк (расстояние до звезды альфа Центавра), вызовет ее смещение на 0,004 угловой секунды. Такая малая величина находится далеко за пределами возможностей даже крупнейших наземных телескопов, например 10-м телескопы Обсерватории им. Кека при наилучших условиях видимости дают угловое разрешение около 0,02", то есть в пять раз хуже.

Как и в случае транзитного метода, резкое увеличение чувствительности астрометрии может быть достигнуто с помощью космических телескопов. 19 декабря

Экзопланеты HR 8799 b, c, d, e у звезды HR 8799 в созвездии Пегаса, расстояние – 129 св. лет от нас. Инфракрасное изображение получено с помощью 10-м телескопа Обсерватории им. Кека, NASA.

2013 г. на орбиту была выведена европейская космическая астрометрическая обсерватория "Гайя" ("GAIA"; Земля и Вселенная, 2014, № 3). Этот проект не посвящен непосредственно поиску экзопланет, он предназначен для построения точной трехмерной карты нашей Галактики. В рамках миссии планируется определить координаты, параллаксы и собственные движения миллиарда звезд (1% полного числа звезд Галактики) с огромной точностью (лучше 10 угловых микросекунд для звезд ярче +10^m, лучше 25 угловых

микросекунд для звезд ярче $+15^m$, лучше 300 угловых микросекунд для звезд ярче $+20^m$). Исключительная точность измерения координат ярчайших звезд позволит, как ожидается, найти несколько тысяч планет-

гигантов с орбитальными периодами 1,5–9 лет в радиусе 200–500 пк. У значительной части открытых планет “Гайя” сможет определить орбитальные характеристики и точную массу. По расчетам, в радиусе 200 пк обсерватория может обнаружить более 4700 планет-гигантов, у примерно 2100 из них будут определены орбитальные характеристики с точностью лучше 20%.

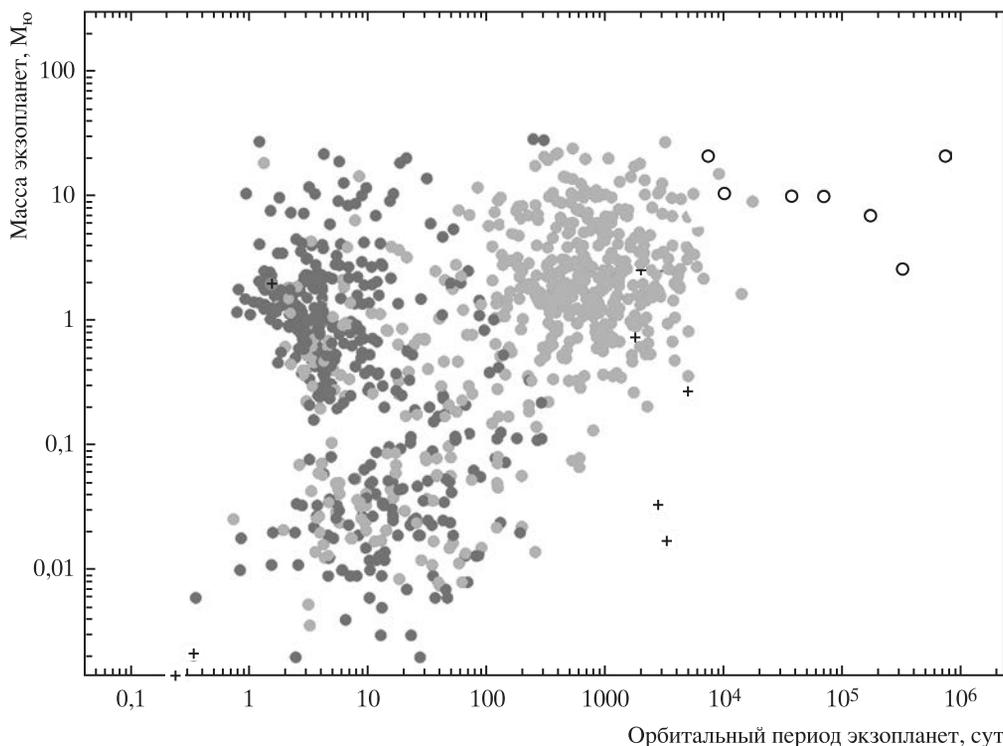
Планируется, что звездный каталог с результатами наблюдений будет опубликован в 2020 г. Совместный анализ данных, полученных обсерваторией “Гайя” и наземными RV-обзорами, позволит найти большин-

ство планет-гигантов с периодами короче девяти земных лет в радиусе менее 200 пк от Солнца.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЕКТЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

Что изменится в ближайшее время при изучении небольших экзопланет – “нептунов”, суперземель и планет земного типа? Здесь ситуация значительно менее радужная. На ближайшие несколько лет намечена реализация сразу нескольких космических проектов, которые приведут к резкому увеличению количества известных экзопланет, но ни один из них не обеспечит открытие всех планет в

График известных внесолнечных планет, размещенных в зависимости от их орбитального периода и массы. Они открыты различными методами: транзитный (черные кружки), лучевых скоростей (серые кружки), гравитационного микролинзирования (крестики), на ИК-снимках (белые кружки). По данным архива экзопланет NASA на 4 мая 2015 г. (<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>).





окрестностях Солнечной системы.

Так, на 2017 г. в рамках Малых исследовательских программ NASA намечен запуск космической обсерватории “TESS” (The Transiting Exoplanet Survey Satellite – спутник для обзора транзитных экзопланет), предназначенной для поиска экзопланет у сравнительно ярких звезд. Космический аппарат будет оснащен четырьмя широкоугольными телескопами с объективами диаметром 12 см, шириной обзора каждой камеры $23^\circ \times 23^\circ$ и ПЗС-камерами. Поля зрения всех камер выстроены

в линию, формируя наблюдательную площадку общей площадью 2100 квадратных градусов. На каждой площадке телескоп будет снимать фотометрию звезд от $+4^m$ до $+12^m$ в течение 27 сут (два витка вокруг Земли), потом переходить к следующей площадке. За два года планируется исследовать всю небесную сферу. Авторы проекта обещают разыскать у ближайших звезд около 300 экзопланет земного типа и суперземель, около 700 мини-“нептунов”, более тысячи “нептунов” и 660 планет-гигантов. Недостатком проекта можно считать

Европейская космическая астрометрическая обсерватория “Гайя”. Рисунок ESA.

малое время мониторинга одной наблюдательной площадки (27 сут), позволяющее находить только планеты на тесных (короткопериодических) орбитах. Впрочем, часть наблюдательных площадок будет перекрываться, особенно вблизи полюсов эклиптики, и там станет возможным открывать планеты, находящиеся на более широких орбитах. Между тем только около 2% планет будут найдены в обитаемой зоне сво-

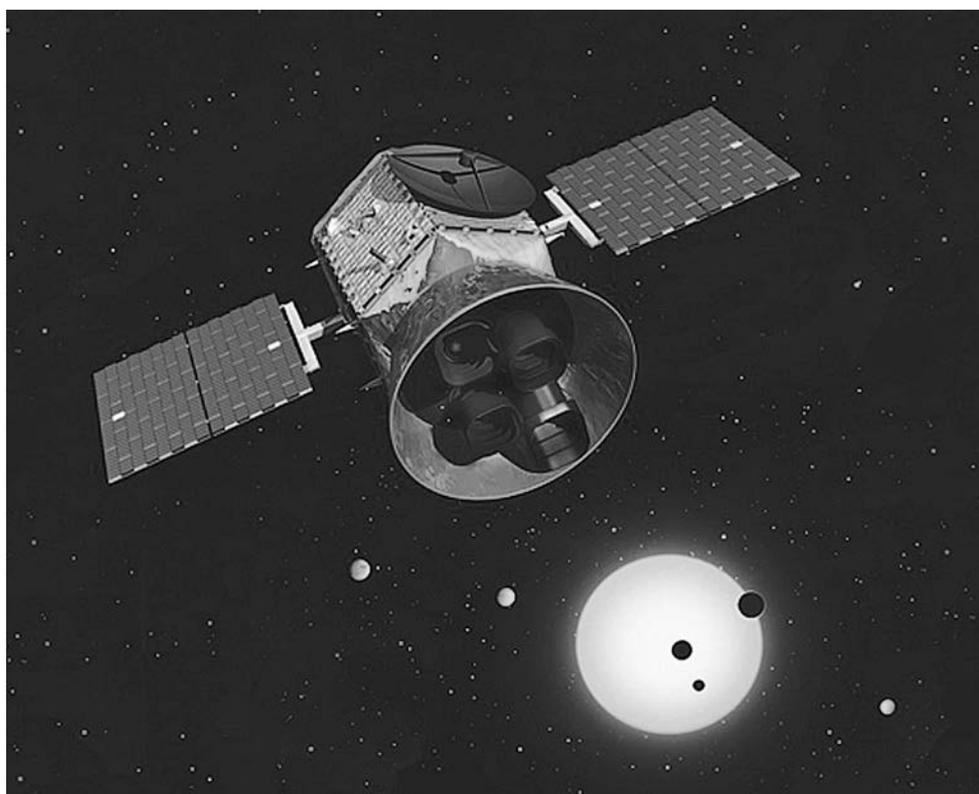
их звезд – тусклых красных карликов, остальные будут существенно горячее. Наблюдая Солнечную систему из глубин космоса, “TESS” не смогла бы обнаружить здесь ни одной планеты.

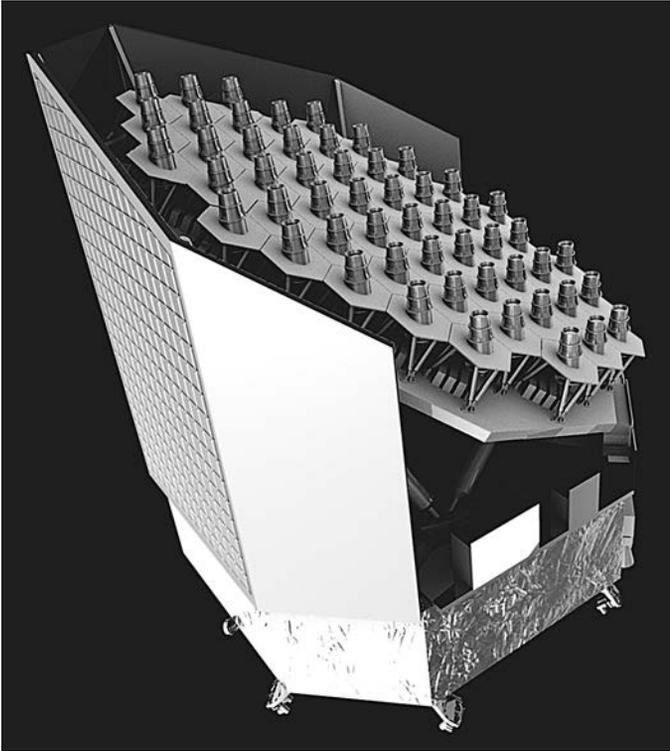
Несравненно к более амбициозным проектам относится “PLATO” (PLAnetary Transits and Oscillations of stars – транзиты планет и колебания звезд; ESA), запуск космической обсерватории

по этому проекту предполагается в 2024 г. Как и “TESS”, “PLATO” собирается искать транзитные планеты у ярких звезд с блеском до +11^m. В отличие от “TESS” поиск не ограничится планетами, находящимися на короткопериодических, а значит, очень близких к звезде орбитах. В рамках этого проекта предусмотрен непрерывный фотометрический мониторинг двух основных наблюдательных полей в течение трех лет, также планируется охватить наблюдениями несколько дополнительных полей в течение 2–5 месяцев. Авторы проекта предлагают

установить на “PLATO” 32 основные и две дополнительные камеры. Предполагаемые параметры каждого телескопа: апертура – 12 см, поле зрения – 1100 квадратных градусов, чувствительность в диапазоне 500–1050 нм, его оснастят CCD-детектором с матрицей 4510 × 4510 пикселей. Поскольку поля зрения отдельных камер частично перекрываются, общее поле зрения составит 2250 квадратных градусов. “PLATO” планируется направить в точку Лагранжа L2 системы Солнце – Земля (реальная орбита совершит либрации вокруг L2). Про-

Малая космическая обсерватория “TESS”, предназначенная для поиска экзопланет транзитным методом. Рисунок NASA.





Предполагаемый облик космической обсерватории "PLATO". Рисунок ESA.

должительность функционирования обсерватории, вероятно, превысит 8 лет. За все время работы планируется охватить наблюдениями примерно половину небесной сферы. Несомненно, что "PLATO" откроет тысячи планет у сравнительно ярких звезд, в том числе земного типа. У этого проекта тот же недостаток, что и у других обсерваторий, использующих транзитный метод. Из-за низкой геометрической вероятности транзитной конфигурации большинство планет даже у ближайших звезд (!) так и не будут обнаружены.

В 2018 г. ожидается запуск американской кос-

мической инфракрасной обсерватории им. Джеймса Вебба (James Webb Space Telescope, "JWST") с 6,5-м телескопом, призванной заменить знаменитый Космический телескоп им. Э. Хаббла и космическую инфракрасную обсерваторию "Спитцер". Ракета-носитель выведет "JWST" в точку Лагранжа L2 системы Солнце – Земля. Работа обсерватории рассчитана на пять лет, но ученые надеются не менее чем на десять лет. Чувствительность телескопа будет в диапазоне от 0,6 мкм (оранжевые лучи) до 28,5 мкм (средний ИК-диапазон). Обсерватория предна-

значена для решения обширного круга научных задач: рождение и эволюция галактик, распределение в пространстве темной материи, процессы образования планетных систем, поиск объектов пояса Койпера. Одной из основных научных целей "JWST" станет получение изображений и спектров внесолнечных планет. Камера ближнего инфракрасного диапазона NIRCam будет снабжена коронографом, блокирующим яркий свет родительских звезд, что позволит получать снимки планет-гигантов с эффективной температурой вплоть до 300 К, расположенных дальше 12 а.е. от своих звезд, в ближайших окрестностях Солнца. Кроме того, спектрограф ближнего инфракрасного диапазона NIRSpec определит трансмиссионные спектры транзитных экзопланет. Ожидается, что "JWST" сможет изучить химический состав и физические условия в атмосферах множества экзопланет – планет-гигантов и "нептунов", суперземель и планет земного типа.

Перспективная космическая обсерватория

NASA "WFIRST-AFTA" (Wide-Field InfraRed Survey Telescope-Astrophysics Focused Telescope Assets – широкоугольный инфракрасный обзорный телескоп для астрофизических исследований) не предназначена специально для поиска экзопланет, но способна дать уникальные данные о них. На ней установят 2,4-м инфракрасный телескоп с полем зрения 0,281 квадратного градуса и угловым разрешением 0,11". Ее основная работа будет посвящена внегалактической астрономии и космологии – изучению галактик на высоких красных смещениях, далеких сверхновых, темной материи. Среди его целей – поиск внесолнечных планет методом гравитационного микролинзирования.

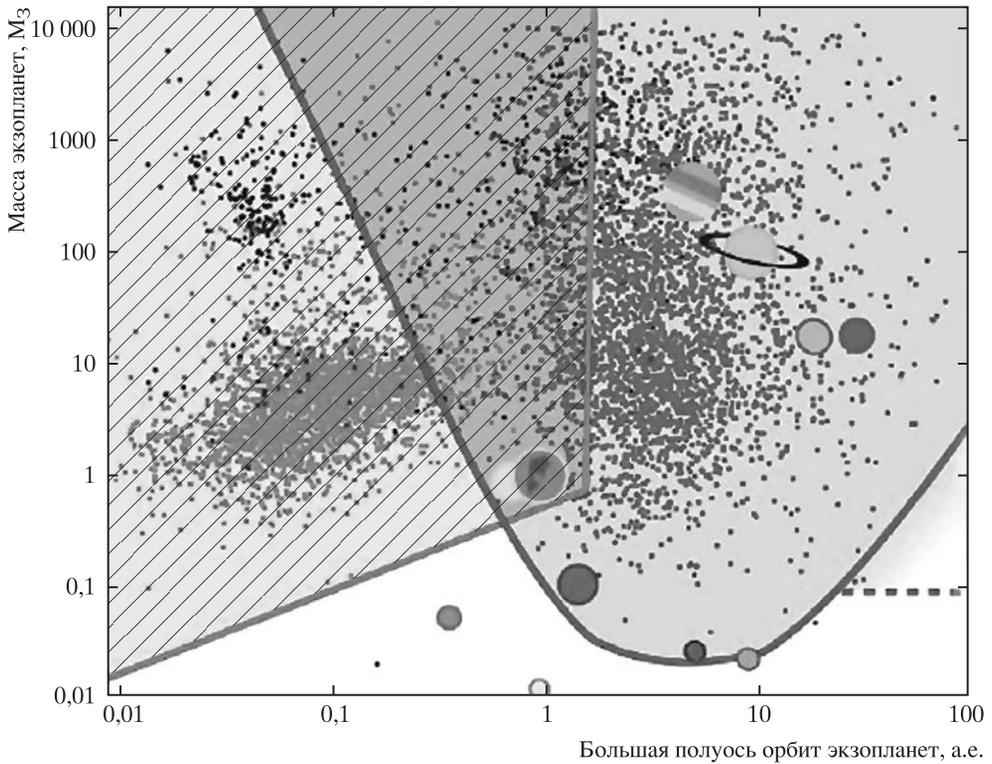
Ожидается, что за время своей работы "WFIRST-AFTA" откроет около 3 тыс. экзопланет массой 0,1–10⁴ M_З, находящихся во внешних зонах своих планетных систем, в том числе примерно тысячу суперземель массой 2–10 M_З, 300 планет массой порядка массы Земли и около 40 планет массой,



сравнимой с массой Марса. Предполагается, что он определит характеристики холодных планет массой более 0,3 M_З с точностью лучше 10%. Также ожидается, что "WFIRST-AFTA" обнаружит планеты-скитальцы, не связанные с какой-либо звездой. Помимо поиска планет с помощью микролинзирования телескоп сможет получать прямые изображения планет-гигантов и "нептунов" у самых ближайших звезд, используя коронोगраф. Спектральная чувствительность коронोगрафа – 0,4–1,0 мкм, инструмент обеспечит контраст 10⁻⁹ с внутренним рабочим углом 3λ/D

для излучения с длиной волны 0,4 мкм. Разрешение коронोगрафа – 17 угловых миллисекунд. Предполагается, что "WFIRST-AFTA" стартует на околоземную геосинхронную орбиту с наклоном 28,5°. Работа обсерватории рассчитана на пять лет с возможностью продления еще на пять лет.

В случае успешного запуска "WFIRST-AFTA" ее исследования экзопланет дополняют данные транзитных обзоров и работы обсерватории "Гайя". В результате удастся собрать богатейшую информацию о планетных системах Галактики, которые уточнят



сценарии формирования и эволюции планетных систем, обеспечат глубокое понимание процессов эволюции планет различной массы, химического состава и степени инсоляции, помогут уточнить климатические модели.

Какие перспективы у метода измерения лучевых скоростей? Сейчас лучшие из современных спектрографов (HARPS, HARPS-N, HIRES, PFS) имеют точность единичного измерения 0,8–1 м/с для относительно ярких звезд и идеальных условий наблюдения. Это позволяет находить горячие планеты с массой вплоть до 2–3 M_{\oplus} на близких к звезде орбитах или “неп-

туны” на орбитах, удаленных от своей звезды на 1–2 а.е. Примером открытия, сделанного RV-методом на пределе возможного, можно считать открытие горячей планеты земного типа у звезды альфа Центавра В с минимальной массой $1,13 \pm 0,09 M_{\oplus}$ и орбитальным периодом 3,23 земных суток. Полуамплитуда колебаний лучевой скорости звезды, вызванных этой планетой, составила всего 0,51 м/с! Такой слабый сигнал стало возможно “вытащить из-под шумов”, только набрав и проанализировав значительный массив данных. В общей сложности было получено 459 замеров лу-

График областей чувствительности телескопов, установленных на космических обсерваториях “Кеплер” (штриховка) и “WFIRST-AFTA” (серый фон). NASA.

чевой скорости звезды альфа Центавра В.

Ожидается, что в 2016 г. будет введен в строй спектрограф нового поколения ESPRESSO, который планируется установить на 8,2-м телескопе VLT. Заявленная точность измерения лучевых скоростей сравнительно ярких звезд с помощью этого спектрографа достигнет 0,1–0,2 м/с. Это позволит обнаруживать суперземли

массой 4–5 M_3 на расстоянии около 1 а.е. от звезды, подобной Солнцу, а также планеты с массой порядка массы Земли в обитаемой зоне красных карликов. Заметим, что поиск потенциально обитаемых планет у красных карликов вести легче, чем у солнцеподобных звезд. Из-за меньшей массы родительской звезды ее отклик на гравитационное влияние планеты оказывается выше, а сама обитаемая зона располагается ближе к звезде. Так, если Земля вызывает колебания скорости Солнца с амплитудой всего 9 см/с и периодом один год, то в обитаемой зоне красного карлика массой 0,21 M_\odot и спектрального класса M5 орбитальный период нашей планеты оказался бы равным 21 сут, амплитуда колебаний достигла бы 65 см/с. Нет никаких сомнений, что первые потенциально обитаемые планеты будут открыты именно у красных карликов.

К еще более амбициозным приборам от-

носится высокоточный спектрограф CODEX (COsmic Dynamics and EXo-earth experiment – космическая динамика и эксперимент по поиску экзоземель). Его планируется установить на 39,4-м Европейском Экстремально Большом Телескопе (E-ELT), строительство которого должно завершиться в 2024–2025 гг. Ожидается, что точность CODEX в измерении лучевых скоростей звезд ярче 9^m достигнет 2 см/с! Это позволит уверенно обнаруживать экзопланеты, подобные Земле, у ближайших звезд – аналогов Солнца.

Итак, третье десятилетие XXI в. должно ознаменоваться настоящим прорывом в изучении внесолнечных планетных систем. Уже к началу 2020-х гг. обсерватория “Гайя” может найти большинство планет-гигантов с орбитальными периодами 1,5–9 лет в радиусе 200–500 пк от Солнца. К этому же времени “TESS” откроет все транзитные планеты с

радиусами более 2–3 R_3 и периодами короче 27 сут у ярких звезд до +1^m. Масса и средняя плотность новых планет будет определена методом лучевых скоростей спектрографами нового поколения HARPS-N (в Северном полушарии) и ESPRESSO (в Южном). Космический телескоп им. Джеймса Вебба приступит к измерению химического состава атмосфер транзитных планет и построению их температурных профилей. В середине 2030-х гг. начнет работу обсерватория “PLATO”, которая продолжит исследования “Кеплера” и, возможно, откроет экзопланеты земного типа у звезд, таких как Солнце. Массы транзитных кандидатов “PLATO” будут измерены спектрографом CODEX. Наконец, данные, полученные к концу 2030-х гг. “WFIRST-AFTA”, позволят собрать богатую статистику о внешней, холодной части планетных систем Галактики, недоступной для других методов.



Влияние солнечного ветра на атмосферы Марса и Венеры

О.Л. ВАЙСБЕРГ,
доктор физико-математических наук
ИКИ РАН

Солнечный ветер, образующийся при истечении плазмы из короны светила, при встрече с планетами, обладающими собственным магнитным полем, формирует вокруг них магнитные полости – магнитосферы. Оказалось, что магнитосферы у планет без магнитных полей состоят из магнитных трубок солнечного ветра, заполняемых планетарными ионами. Эти



“аккреционные магнитосферы” не полностью защищают атмосферу от солнечного ветра, наоборот, через магнитные хвосты ускользает значительная часть их атмосфер. Для Марса эти процессы оказались катастрофическими, за несколько миллиардов лет он потерял большую часть своей атмосферы, а с нею и воду.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С НЕБЕСНЫМИ ТЕЛАМИ

Солнечный ветер (СВ), рождающийся в короне Солнца, заполняет собой пространство приблизительно в 100 раз больше расстояния от нашей звезды до Земли и оказывает влияние на все

тела Солнечной системы. Планеты, имеющие собственное магнитное поле (Меркурий, Земля, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун), препятствуют движению потока замагниченной плазмы СВ, в нем возникают магнитные полости. Твердые тела, такие как Луна и

астероиды, нейтрализуют плазму солнечного ветра, образуя плазменную тень в виде экрана. Сложные явления происходят, когда СВ взаимодействует с Марсом, Венерой и кометами, не имеющими магнитного поля, но с достаточно плотной атмосферой.

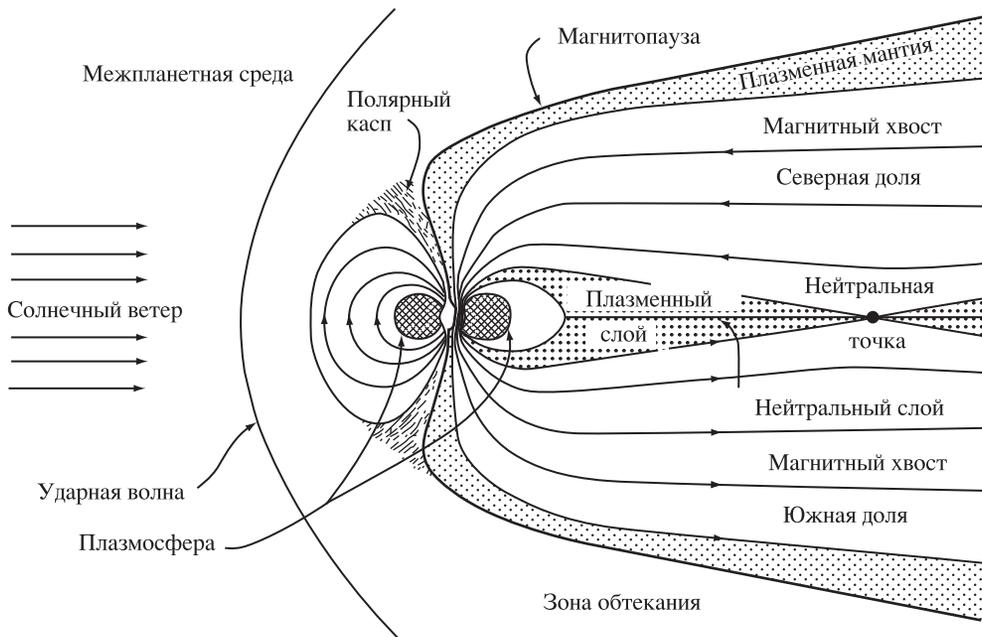


Схема магнитосферы Земли в потоке солнечного ветра.

При взаимодействии СВ с атмосферой образуется магнитосфера благодаря трансформации магнитного поля солнечного ветра из-за захвата потоком планетарных ионов. Магнитосфера напоминает магнитосферу магнитной планеты, ее конфигурация определяется преимущественно магнитным полем СВ. Поток СВ уносит с собой довольно много планетарных ионов, что привело к значительному уменьшению его атмосферы. Например, за несколько миллиардов лет Марс потерял много воды, и его атмосфера стала очень разреженной. У Венеры

атмосфера намного более плотная и скорость потерь недостаточна, чтобы изменить ее общее содержание, тем не менее СВ привел к изменению состава атмосферы. Плазменный хвост комет, возникающий во время приближения их к Солнцу, подобен хвостам Марса и Венеры. Утрата газа связана с разогревом комет вблизи Солнца, скорость уноса вещества с них намного превышает потери Марса и Венеры.

С 1960-х гг. мы знаем о СВ как потоке замагниченной плазмы, вытекающей из солнечной короны, разогретой примерно до миллиона градусов, заполняющей собой всю Солнечную систему (Земля и Вселенная, 1965, №№ 3, 4).

Существование магнитного поля в разреженной плазме и практически постоянные колебания магнитного и электрического полей приводит к тому, что СВ ведет себя как сплошная среда. Поэтому, встречая на своем пути препятствие, например Землю с ее сильным магнитным полем, поток СВ вынужден обогнуть нашу планету. Поскольку поток солнечного ветра сверхзвуковой (средняя его скорость – 400 км/с – в несколько раз превышает скорость магнитозвуковых волн, определяющих перенос энергии), перед препятствием в потоке формируется ударная волна. Это необходимое условие, чтобы поток отклонился, притормозил и нагрелся, и смог обо-

гнуть препятствие, например магнитное поле Земли. Оно в подсолнечной точке на расстоянии примерно 70 тыс. км обеспечивает такое же давление, как у солнечного ветра. В потоке СВ образуется полость (магнитосфера), контролируемая магнитным полем Земли и простирающаяся своей магнитный хвост на миллионы километров в направлении, противоположном солнечному. Конфигурация магнитосферы формируется из трех токовых систем: в жидком металлическом ядре Земли, на границе между обтекающим потоком СВ и магнитным полем Земли (магнитопауза) и между долями хвоста магнитосферы.

Исследование магнитосферы Земли – одно из важнейших направлений современных космических исследований, мотивированных как стремлением к познанию физики и динамики магнитосферы, так и влиянием магнитосферных процессов на нашу повседневную жизнь.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С МАРСОМ

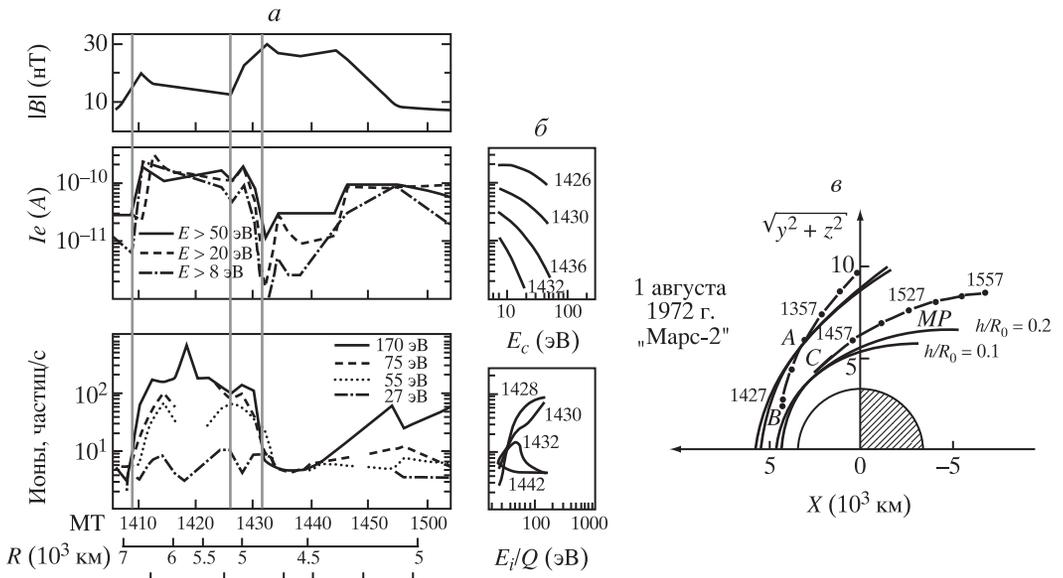
В 1960-х гг. начались исследования Марса и Венеры с помощью советских и американских АМС, но они были кратковременными и проводились с помощью про-

летных и спускаемых аппаратов. Внимание уделялось главным образом исследованию атмосфер и поверхностей планет. Ни у Марса, ни у Венеры не предполагалось сильных планетарных магнитных полей. 15 июля 1965 г. АМС “Маринер-4” пролетела на расстоянии 9846 км от поверхности Марса и зарегистрировала возмущение магнитного поля, интерпретированное как возможное пересечение головной ударной волны (Земля и Вселенная, 1966, № 2, с. 87, 91). Первоначально некоторые исследователи рассматривали это как доказательство существования магнитного поля, которое служит препятствием для сверхзвукового потока СВ.

Основной толчок к исследованию внешней оболочки Марса и ее взаимодействия с СВ дали первые советские искусственные спутники Марса – “Марс-2, -3” (1971) и “Марс-5” (1973). Хотя они находились на орбитах, не слишком удобных для исследования области взаимодействия СВ с планетой вследствие большой высоты перигея над поверхностью Марса (1100 км) и недостаточного зондирования ночной стороны планеты, удалось получить интересные результаты (Земля и Вселенная, 1974, № 2). Три группы ученых выполнили эксперименты: плазменный с помо-

щью прибора Д-127 под руководством К.И. Грингауза, магнитный с помощью магнитометра под руководством Ш.Ш. Долгинова и плазменный с помощью прибора РИЭП-2801 под руководством автора статьи. Достоверно установлено присутствие головной ударной волны и области на дневной стороне Марса, в которой магнитное поле было усилено. Ионы и электроны меньших энергий регистрировались в области обтекания Марса СВ. Ударная волна определялась по резкому возрастанию величины магнитного поля и потока ионов и электронов малых энергий. Область препятствия потоку СВ установлена по одновременному возрастанию магнитного поля и уменьшению энергий ионов и электронов.

На “Марсе-2 и -3” было обнаружено, что магнитоплазменная оболочка практически непроницаема. Это препятствие, природу которого необходимо было установить, служит причиной образования отошедшей ударной волны. Большая высота препятствия над планетой и ее ионосферой показала, что оно образуется не за счет взаимодействия с ионосферой планеты, а должен быть какой-то дополнительный фактор, определяющий высоту препятствия потоку СВ. Авторы экспериментов



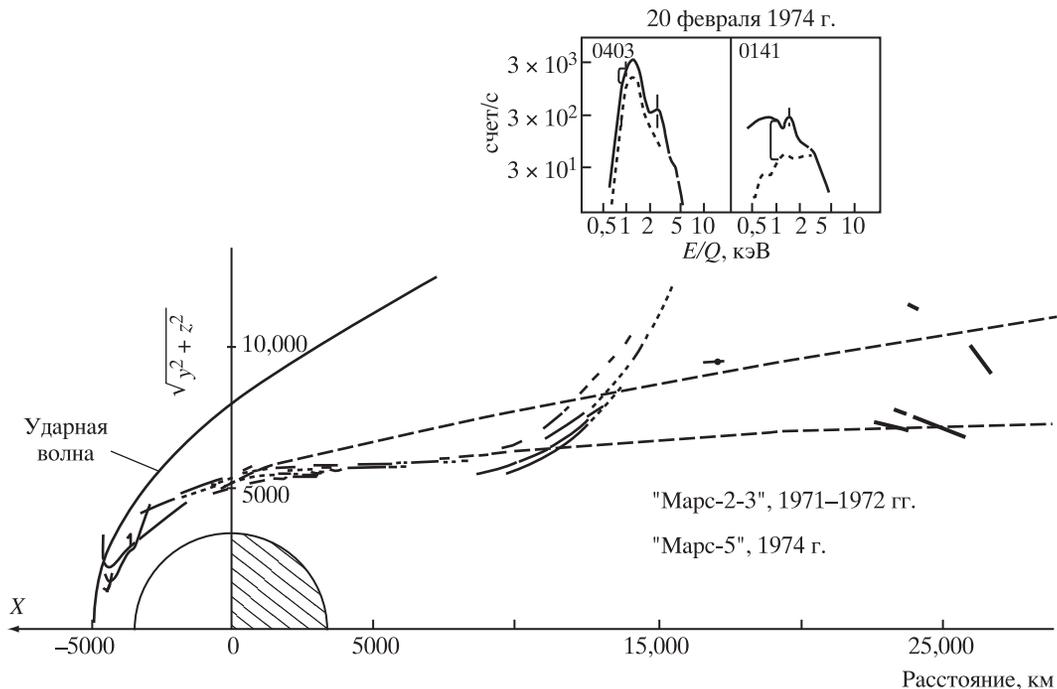
Графики пересечения ударной волны (жирная линия) и области низкоэнергичных ионов (ограничена двумя тонкими линиями), измеренных прибором РИЭП-2801 на дневной стороне Марса (а); спектры ионов и электронов с указанием времени измерения (б); орбита ИСМ "Марс-2" (в). Эксперимент Ш.Ш. Долгинова, прибор Д-127 и РИЭП-2801.

Марса автор статьи и его коллеги считали взаимодействие СВ с атмосферой планеты кометного типа.

Наблюдения авторов аналогичных экспериментов, выполненных ИСМ "Марс-5", дополнили результаты "Марса-2 и -3", в особенности благодаря тому, что его орбита проходила и по ночной стороне планеты. Эксперименты, проведенные на "Марсе-5" прибором РИЭП-2801, позволили убедительно установить существование плазменного хвоста – продолжения области низкоэнергичных ионов на дневной стороне Марса. Наблюдаемые ионы на дневной стороне препятствия постепенно ускоряются и образуют убегающий от планеты поток во внешней области магнитоплазменного хвоста.

В анализаторах ионов прибора РИЭП-2801 в качестве детекторов (счетчиков частиц) использовались каналные электронные умножители (КЭУ). Было обнаружено, что в определенных режимах можно использовать КЭУ в качестве масс-анализаторов, в частности уровня их чувствительности при регистрации легких ионов, составляющих поток солнечного ветра, отличается от такового при регистрации тяжелых ионов (например, кислорода). Использование этого свойства КЭУ при измерениях ионов вблизи Марса позволило обнаружить тяжелые ионы (наиболее вероятно, ионы кислорода) в потоке плазмы вблизи Марса. Ионы кислорода составляют добавку в потоке солнечной плаз-

на "Марсе-2 и -3" разошлись в интерпретации природы этого препятствия. Ш.Ш. Долгинов и К.И. Грингауз считали, что причиной относительно большой высоты границы препятствия может быть собственное планетарное магнитное поле с магнитным моментом $2,4 \times 10^{22}$ Гс · см³. Предпочтительным объяснением наблюдавшегося размера препятствия у



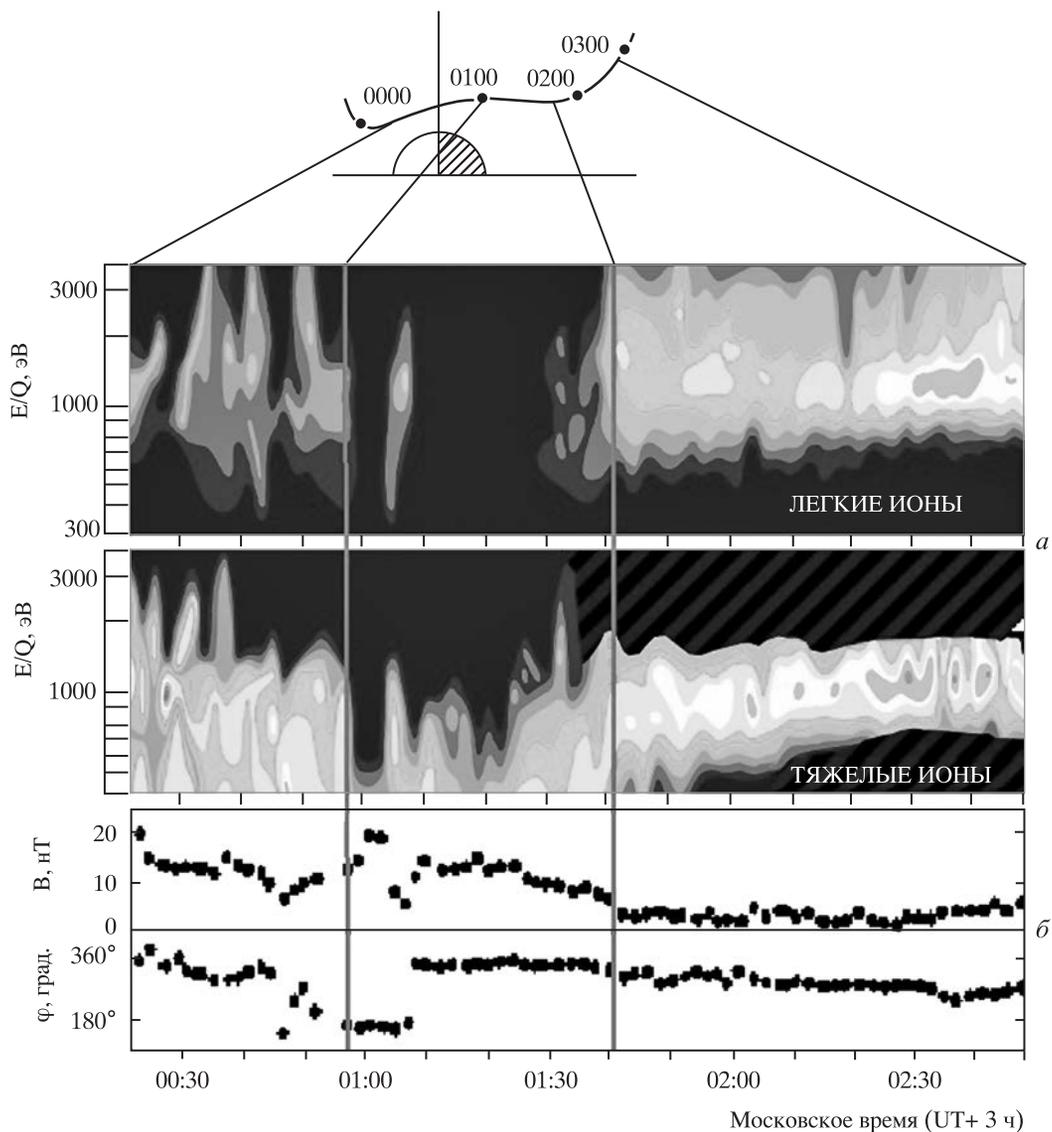
мы, обтекающей Марс. С приближением к планете РИЭП-2801 фиксировал все большее количество тяжелых ионов в потоке плазмы. Было зарегистрировано резкое изменение состава ионов при переходе от обтекающего потока солнечной плазмы с добавкой планетарных ионов к магнитному хвосту планеты, в котором преобладают планетные ионы. Протоны обтекающего потока практически не попадают в хвост Марса. Это было первое наблюдение захвата солнечным ветром ионов, называемого массовой нагрузкой.

Важный результат эксперимента на "Марсе-5" – оценка потери планетной атмосферных ионов

при обтекании планеты СВ. Измерения потока тяжелых ионов в хвосте проводилось с помощью прибора РИЭП-2801 при разных величинах потока ионов в СВ. Усреднив измерения, произведенные в разное время, и предположив, что ускоренные планетные ионы движутся в сторону от планеты в слое толщиной около 1000 км у границы хвоста, можно сделать вывод, что Марс теряет в секунду приблизительно 2×10^{25} ионов кислорода, то есть 300 г/с. Атмосфера Марса весьма разрежена: давление у поверхности составляет одну тысячную атмосферного давления на Земле, а полная масса атмосферы – $2,5 \times 10^{16}$ кг.

Схема области низкоэнергичных ионов вблизи Марса, по измерениям на АМС "Марс-2, -3 и -5". Прерывистые линии – участки орбит, на которых зарегистрированы эти ионы, пунктир – примесь ионов в обтекающем потоке, прямые пунктирные линии – границы потока ионов. Во врезке – спектры ионов в обтекающем потоке и в хвосте Марса, по данным анализаторов прибора РИЭП-2801.

За 4,5 млрд. лет Марс должен был потерять $4,3 \times 10^{16}$ кг воды, как показывают современные исследования с помощью прибора АСПЕРА-2. На уносимый СВ атом кислорода приходится два уносимых атома водорода, то есть Марс теря-

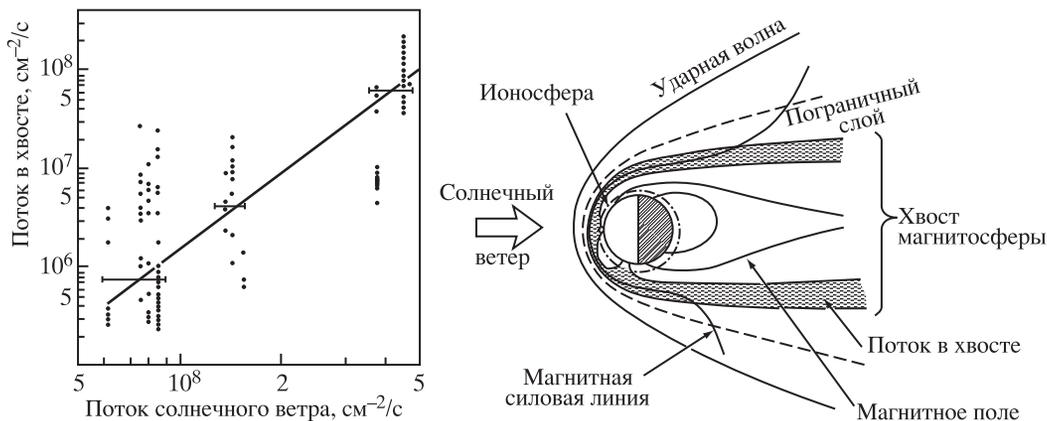


Диаграммы время – энергия для легких и тяжелых ионов при прохождении ИСМ “Марс-5” на фланге области обтекания Марса 20 февраля 1974 г. (а); модуль и азимут магнитного поля (б). Вертикальными линиями выделены три участка полета “Марс-5”.

ет воду. Ввиду того что солнечная активность была выше в ранней стадии формирования Солнечной системы, полные атмосферные потери Марса еще существеннее. Солнечный ветер сыграл решающую роль в эволюции атмосферы Марса и потере им воды. Тема атмосферных по-

терь Марса становится очень актуальной, особенно в последние годы, когда его активно исследуют.

Большой интерес научной общественности к Марсу отмечен на международной конференции “Взаимодействие солнечного ветра с планетами Меркурий, Венера



и Марс”, проводившейся в Москве 17–21 ноября 1975 г. В ней участвовало большинство научных сотрудников, занимавшихся исследованием Марса, Венеры и Меркурия. Ученые СССР, внесшие значительный вклад в исследование Марса, имели возможность принять у себя выдающихся ученых из других стран. Успех этой конференции связан с тем, что наша страна была лидером в космических исследованиях планет.

Более детальные исследования внешней оболочки Марса проводились на ИСМ “Фобос-2” (СССР) и “Марс Экспресс” (ESA). На “Фобосе-2” были установлены приборы ТАУС (разработчик К.И. Грингауз) и АСПЕРА (Р. Лундин, Швеция). Измерения ионного состава с помощью сканирующего анализатора АСПЕРА показали преобладание кислорода в хвосте Марса. По данным измерений определена ско-

рость потери Марсом атмосферы – 2×10^{25} ионов в секунду. Изучение с помощью прибора ТАУС обтекания солнечным ветром Марса подтвердило, что в хвосте Марса доминируют тяжелые ионы. По данным этого прибора, оценка средней величины потерь, индуцированных СВ, составила 2×10^{25} ионов в секунду.

Продолжавшийся в течение многих лет спор о том, имеет ли Марс собственное магнитное поле, разрешился после исследований планеты в 1997–2007 гг. ИСМ “Марс Глобал Сервейер”. Измерения с низкой орбиты с помощью магнитометра группой М. Акунья (США) показали, что у Марса нет собственного планетарного магнитного поля. Но в Южном полушарии есть довольно сильные магнитные аномалии, которые могут оказывать влияние на взаимодействие обтекающего потока в поясе долгот $120\text{--}240^\circ$. По первым со-

Диаграмма измерения плотности потока тяжелых ионов в хвосте Марса прибором РИЭП-2801 в зависимости от величины потока солнечного ветра. Схема структуры обтекания СВ магнитосферы Марса.

общениям экспериментаторов после выхода “Марс Глобал Сервейер” на орбиту искусственного спутника Марса NASA ошибочно разместила на своем сайте информацию, что зарегистрировано собственное магнитное поле Марса. Автор тут же написал профессору Института геофизики и планетной физики Калифорнийского университета (Лос-Анджелес) К. Расселу: “Как же мы, такие дураки, не смогли заметить этого собственного марсианского магнитного поля?” (Мы с ним были убеждены, по результатам наших исследований, что у Марса нет собственного магнитного поля). Бук-

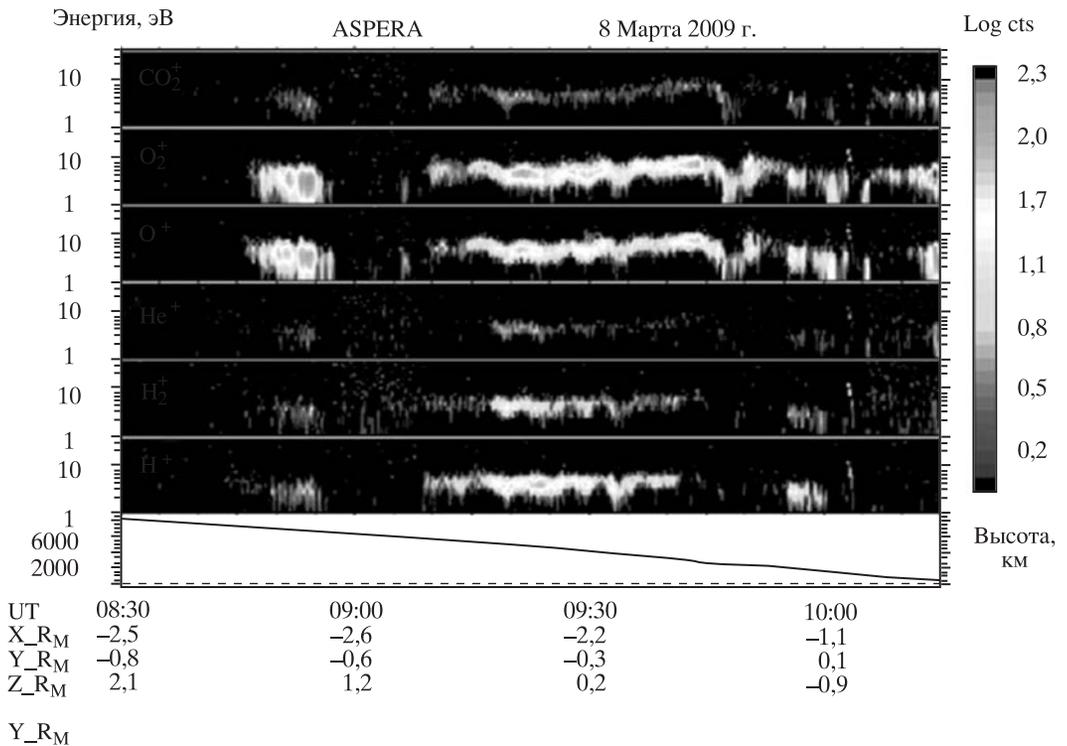


Участники конференции “Взаимодействие солнечного ветра с планетами Меркурий, Венера и Марс” (17–21 ноября 1975 г.). Сидят: Дж. Спрайтер (США), О.Л. Вайсберг, А. Десслер (США), Г. Бридж (США), М. Изаков, Т.Н. Бреус, И.М. Подгорный, О.М. Белоцерковский, В. Шабанский, Н. Несс (США), Н. Жигулёв, Ш.Ш. Долгинов, А.С. Липатов, К.И. Грингауз, З. Бауер (Австрия). Стоят: А.А. Галеев, Н.С. Савич, Л.Н. Жужгов, С.А. Романов, Е.Г. Ерошенко, Г.Н. Застенкер, Л.М. Зелёный, Э.П. Дубинин, А.В. Богданов, В.Н. Смирнов, В.Я. Митницкий и П. Клотье (США).

важно через несколько дней исчезло сообщение о собственном магнитном поле Марса. А вскоре появились публикации об открытии магнитных аномалий на Марсе. Анализ данных магнитных измерений на ИСМ “Марс Глобал Сервейер” показал, что в Южном полушарии Марса есть магнитные аномалии, которые остались после того, как собственное магнитное поле Марса исчезло.

Выведенная на орбиту искусственного спутника Марса в конце 2004 г. АМС “Марс Экспресс” функционировала 10 лет. Длительные исследования ускоренных тяжелых ионов в ближнем хвосте Марса позволило С. Барабашу (Швеция) и его коллегам определить средний состав убегающих ионов: O^+ – 41%, O_2^+ – 38,5%, CO_2^+ – 20,5%. Один из самых интересных результатов иссле-

дований на АМС “Марс Экспресс” – обнаружение Р. Лундиным (Швеция) и его коллегами истечения ионосферных ионов с ночной стороны Марса. Оказалось, что этот источник потерь составляет во время минимума солнечной активности всего 5×10^{24} тяжелых ионов в секунду, но в период максимума солнечной активности достигает $1,4 \times 10^{26}$ частиц в секунду. Измерения



плотности потока ионов в хвосте проведены на искусственных спутниках Марса, и по ним определены общие потери, индуцированные СВ. Скорость потерь атмосферой Марса увеличивается примерно на порядок во время высокой солнечной активности.

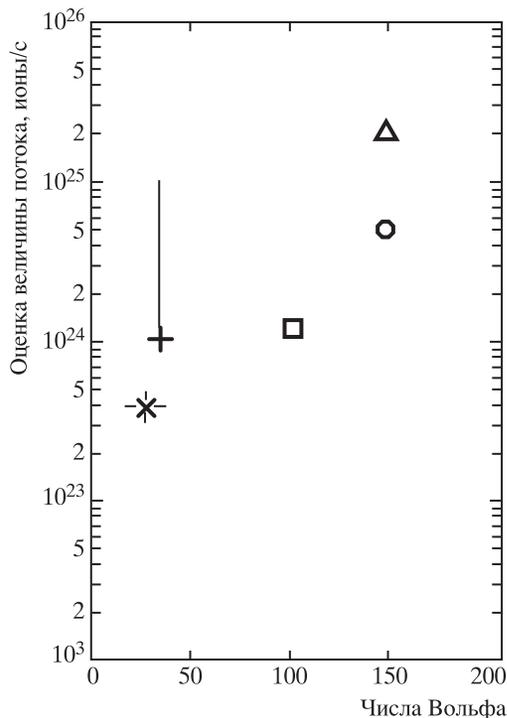
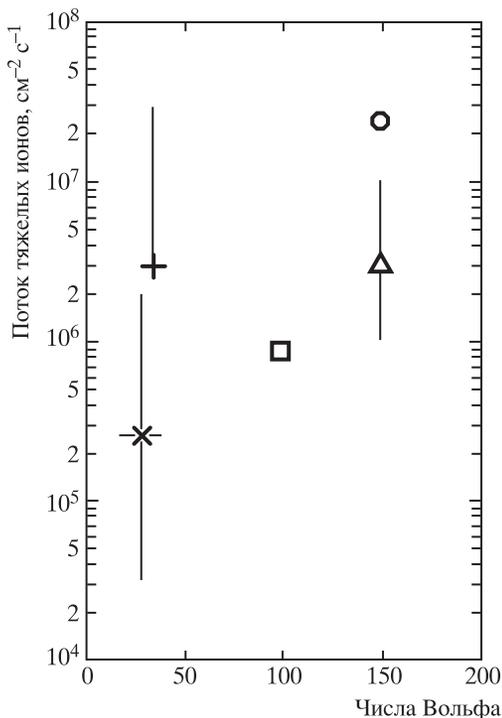
Выполненные до настоящего времени исследования с помощью искусственных спутников Марса позволяют сделать убедительное заключение о важной роли СВ в эволюции атмосферы Марса. В современных условиях она не способна защитить будущих поселенцев, в отличие от Земли, где магнитное поле и плотная

атмосфера защищают живые организмы от губительной радиации.

Осознание роли СВ в формировании атмосферы Марса способствует дальнейшему развитию в исследованиях ее структуры и эволюции. Для решения этих задач 22 сентября 2014 г. АМС «MAVEN» (США) с новейшей научной аппаратурой вышла на орбиту искусственного спутника Марса. За «MAVEN» последовал индийский ИСМ «Мангальян» с приборами для исследования Марса, его атмосферы и атмосферных потерь (Земля и Вселенная, 2014, № 2, с. 50–52, 62–63; 2015, № 1, с. 51–52). К сожалению, россий-

Спектрограммы время – энергия низкоэнергичных ионов CO₂⁺, O₂⁺, O⁺, He⁺, H₂⁺, H⁺ с энергией менее 50 эВ, вытекающих из ионосферы Марса. Внизу – высота орбиты ИСМ «Марс Экспресс» (ESA) 8 марта 2009 г., под ней – универсальное время и три координаты спутника «Марс Экспресс». Справа – шкала логарифма скорости счета ионов. По данным Р. Лундина (Швеция).

ская АМС «Фобос-Грунт», одной из задач которой было исследование роли влияния СВ на верхнюю атмосферу Марса, потерпел аварию при запуске в 2011 г. (Земля и Вселенная, 2011, № 4; 2012, № 2, с. 106–107). Осознание роли СВ в формиро-



⊕ „Марс-5“ (РИЭП)

△ „Фобос-2“ (ASPERA)

○ „Фобос-2“ (ТАУС)

× „Марс Экспресс“

□ Оценка по модели Зелёного - Вайсберга

Диаграммы плотности потока тяжелых ионов в хвосте Марса и вычисленные по этим данным их потери.

вании атмосферы Марса способствует дальнейшему развитию исследований ее структуры и эволюции.

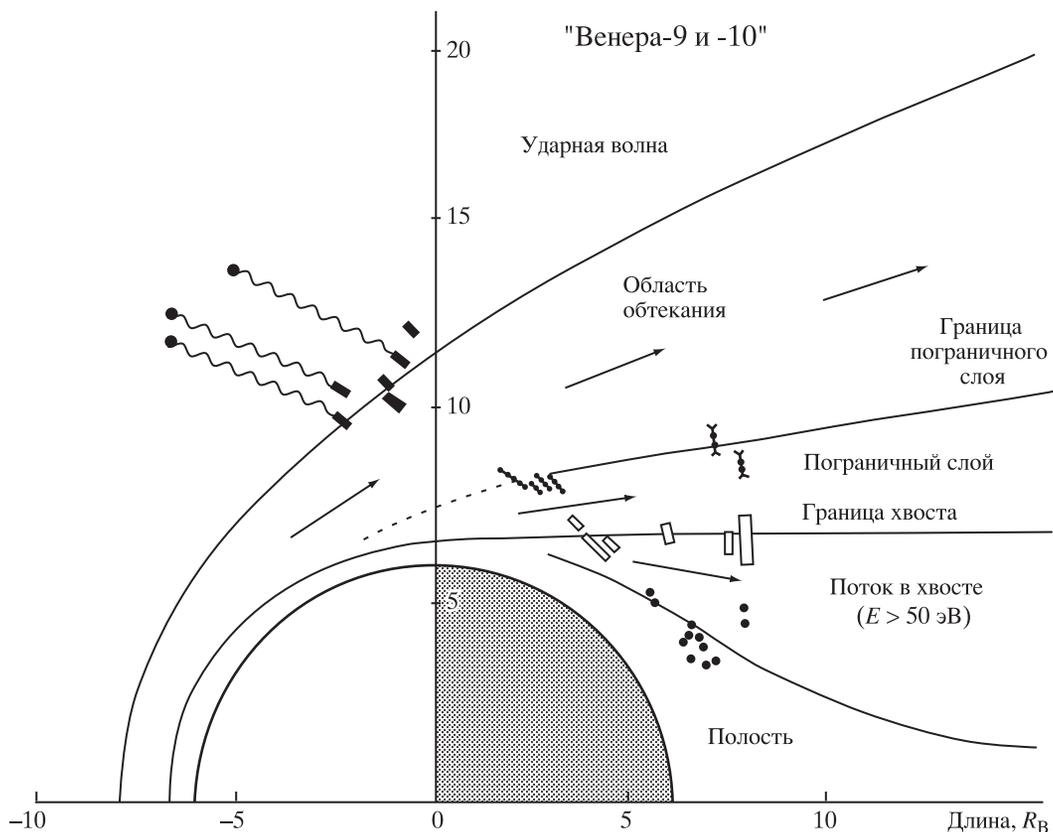
ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА
С ВЕНЕРОЙ

После эпизодических измерений на пролетных и посадочных космических аппаратах в 1962–

1974 гг. систематические исследования взаимодействия СВ с Венерой проводились на советских искусственных спутниках Венеры “Венера-9 и -10” в 1975–1976 гг. (Земля и Вселенная, 1976, № 3). Эксперименты по измерению магнитного поля и плазмы проводили те же группы ученых, что и на первых спутниках Марса. Структура области взаимодействия СВ с Венерой оказалась удивительно похожей на область взаимодействия СВ с Марсом: пограничный слой с примесью планетных ионов в области обтекания планеты

СВ и хвост с потоком планетных ионов. Известно, что Венера не обладает собственным магнитным полем, которое оказывает влияние на обтекание планеты СВ. На АМС “Пионер Венера-1” (США) с периферией орбиты, проходившей на малой высоте от поверхности Венеры, удалось установить, что оно не превышает 2 нТл.

Измерения на АМС “Венера-9 и -10” и особенно на АМС “Пионер Венера-1” (1979–1993), а также на ИСВ “Венера Экспресс” (2006–2014) позволили тщательно изучить внешнюю оболочку планеты. Детальность и



объем исследований аналогичного марсианскому типу взаимодействия с солнечным ветром уточнили многие его подробности. В частности, оказалось, что направление магнитного поля в хвосте Венеры контролируется направлением перпендикулярного потока СВ компонента межпланетного магнитного поля. Это соответствует "драпировке" магнитного поля из-за торможения потока СВ перед препятствием и вмороженности магнитного поля в плазму.

Другой важный результат получен на ИСМ "Пионер Венера-1" во

время исследования ионосферы и магнитного поля на дневной стороне Венеры. Обнаружено, что магнитное поле не проникает в ионосферу Венеры при среднем и малом давлении СВ. Как показал К. Рассел (США) с коллегами, над дневной ионосферой образуется магнитный барьер, то есть область повышенного магнитного поля, магнитное давление в котором приблизительно равно давлению СВ. В магнитном барьере у Венеры присутствует небольшое количество низкоэнергичной плазмы, наподобие той, что

Схема плазменных границ в области взаимодействия СВ с Венерой: ударная волна, внешняя граница пограничного слоя в обтекающем потоке с примесью планетарных ионов, тонкая граница плазменного хвоста между обтекающим потоком СВ и потоком планетарных ионов в хвосте. Показана область ускоренных планетарных ионов в хвосте. Данные прибора РИЭП-2801М лаборатории О.Л. Вайсберга.

наблюдалась у внешней границы препятствия у Марса. Стало ясно, что хвост и поток планетарных ионов в хвосте – это продолжение магнитного барьера. Для понимания



Магнитное поле в хвосте Венеры: 1 – полярность магнитного поля в проекции на плоскость, перпендикулярную потоку СВ с горизонтальной осью вдоль направления межпланетного магнитного поля; 2 – направление магнитного поля в плоскости, содержащей направление магнитного поля и ось X, направленную на Солнце (Е.Г. Ерошенко и др.); 3 – диаграмма профиля ионосферной концентрации (точки) и величина магнитного поля на дневной стороне Венеры (“Пионер Венера-1”).

ли главные результаты предыдущих экспериментов и позволили более детально исследовать вариации магнитосферы Венеры при различных условиях в СВ.

МОДЕЛЬ АККРЕЦИОННОЙ МАГНИТОСФЕРЫ

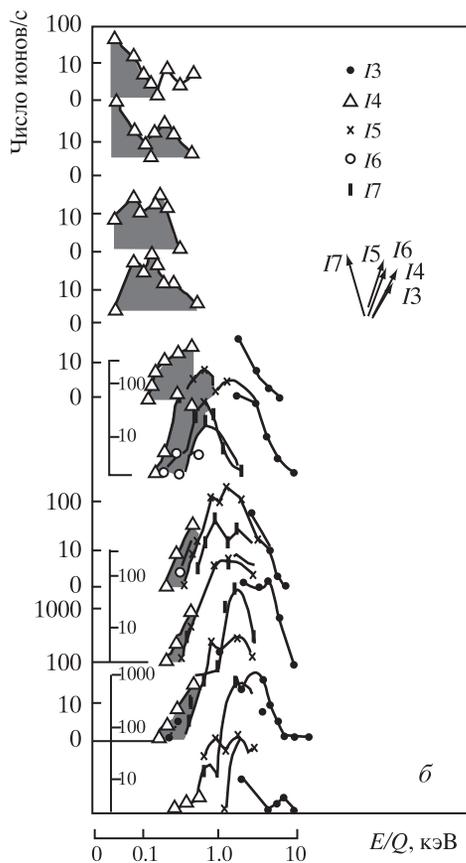
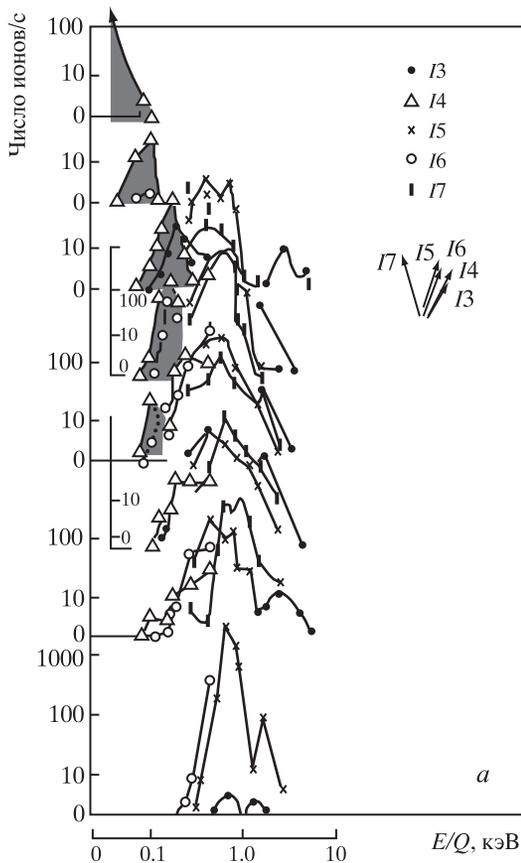
С учетом разных орбит спутников Марса и Венеры и большего объема информации, полученной искусственными спутниками Венеры, можно было составить общую картину взаимодействия СВ с атмосферой немагнитной планеты и свойств ее магнитосферы. В 1984 г. О.Л. Вайсберг и Л.М. Зелёный создали модель магнитосферы Венеры, которая также описывает структуру магнитосферы Марса. Модель опирается на представление о магнитном барьере как препятствии замагниченному потоку СВ, но дополняется нагружением этого потока планетарными ионами при ионизации солнечным ультрафиолетовым излучением

(и рядом других процессов) атомов верхней атмосферы планеты.

Итак, затормозившиеся под нагрузкой тяжелых планетных ионов силовые магнитные трубки формируют дневную часть магнитосферы планеты и тем самым образуют препятствие сверхзвуковому потоку СВ. В результате перед планетой образуется отходящая ударная волна, как и перед магнитосферой магнитной планеты. Так как магнитное поле не может долго накапливаться на дневной стороне планеты, нагруженные магнитные трубки дрейфуют на фланги планеты и затем в хвост вместе с тяжелыми атмосферными ионами. Образуется, как обычно говорят, индуцированная магнитосфера, которая была открыта на АМС серий “Марс” и “Венера”. Правильнее называть ее аккреционной магнитосферой, поскольку она возникает за счет захвата и уноса от планеты части ее ат-

строения магнитосферы Венеры было существенно то, что ширина спектра энергии и толщина слоя, в котором наблюдаются эти ионы, больше на высоких магнитных широтах, чем на низких.

В 2007–2015 гг. АМС “Венера Экспресс” исследовала взаимодействие СВ с Венерой и происходящие в верхней атмосфере Венеры явления в различные фазы солнечного цикла. Эти исследования подтверди-



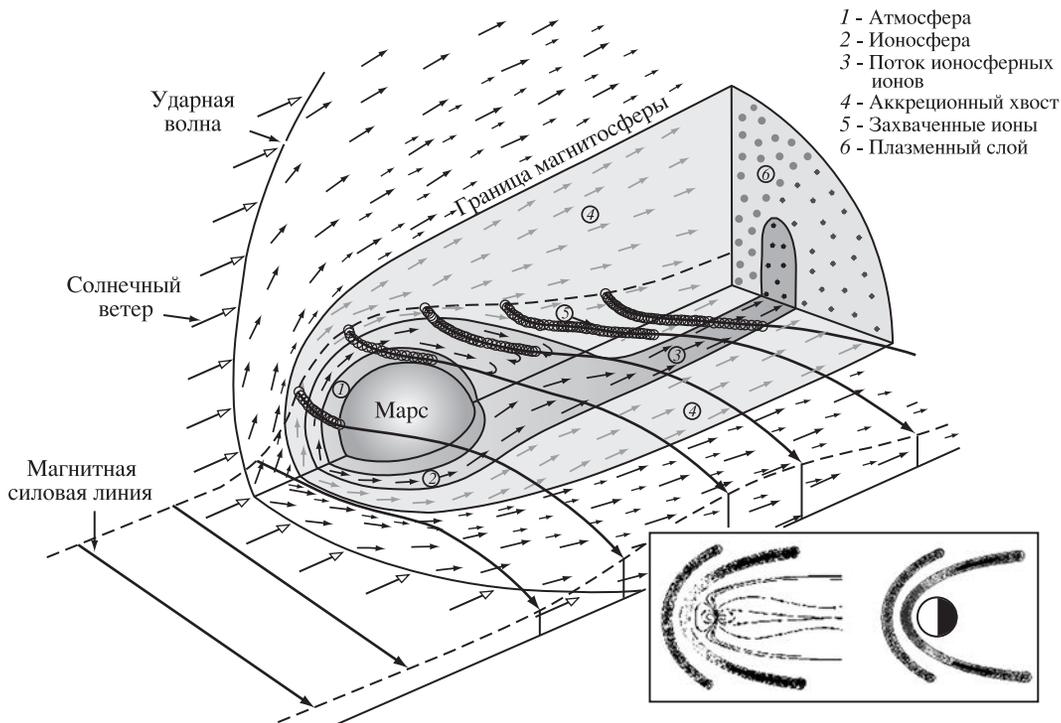
мосферы. Мы предложили способ определения размера такой магнитосферы на основе количественных данных о внешней атмосфере (экзосфере) планеты или на основе количества выделяемых кометами газов. В модели был предложен метод расчета поперечного размера аккреционной магнитосферы по данным о плотности верхней атмосферы планеты, который для Марса и Венеры дает величины, согласующиеся с наблюдаемыми размерами. В 1984 г., за два года до исследований кометы АМС

“Вега-1 и -2” и “Джотто” (ESA), с использованием этой модели мы рассчитали размер плазменной оболочки кометы Галлея (150 тыс. км), который хорошо соответствовал величине, полученной при наблюдении этой оболочки космическими аппаратами в 1986 г. (Земля и Вселенная, 1986, №№ 4, 5).

Выдающиеся конструкторы космической техники Сергей Павлович Королёв и Георгий Николаевич Бабакин и их коллеги предоставили в 1960–1980-х гг. нашим ученым большие возмож-

Диаграммы энергетических спектров ионов от ударной волны через область обтекания и затем через хвост Венеры, зарегистрированные прибором РИЭП-2801М на ИСМ “Венера-10”: а) низкие магнитные широты вблизи пересечения линии вектора магнитного поля диска Венеры, б) высокие магнитные широты вблизи пересечения вертикальной линии диска Венеры.

ности для исследования планет Солнечной системы. Мы гордимся результатами планетных исследований, выполненных на советских АМС и за-



Модель магнитосферы немагнитной планеты, имеющей развитую атмосферу. Во врезке – магнитный барьер перед магнитосферой и магнитный барьер перед атмосферой. О.Л. Вайсберг и Л.М. Зелёный, 1984 г.

ложивших фундамент сегодняшних знаний в этой области.

Проведенные к настоящему времени исследования взаимодействия СВ с Марсом и Венерой

дали возможность перейти от достаточно общих представлений о влиянии СВ на атмосферы планет, не обладающих собственным магнитным полем, к знаниям о многих процессах, происходящих при этом взаимодействии. Наиболее важный результат – познание неизвестного ранее явления: образование аккреционных (индуцированных) магнитосфер. Установлена исключительно важная роль СВ в эволюции

планетных атмосфер. Запуск в 2014 г. к Марсу АМС “MAVEN” (США) и “Мангальян” (Индия) свидетельствует о том, что изучение влияния солнечной активности на атмосферы планет не потеряло своей актуальности. Можно ожидать, что в будущем мы узнаем еще много нового о процессах, влияющих на планеты, а российские инженеры и ученые продолжают принимать активное участие в этих исследованиях.



Исследования на МКС

9–11 апреля 2015 г. в ИКИ РАН прошла международная научно-практическая конференция “Научные исследования и эксперименты на Международной космической станции”, учрежденная Роскосмосом и Российской академией наук и приуроченная к Дню космонавтики. Организовали конференцию Центральный научно-исследовательский институт машиностроения (ЦНИИмаш) и ИКИ РАН. Целью Конференции было обсуждение возможности использовать МКС в интересах науки, технологий, образования и международного сотрудничества. Важным аспектом докладов и дискуссии стало применение результатов космических экспериментов в повседневной деятельности людей на Земле. Программу Конференции составили более 100 устных и около 30 стендовых докладов, посвященных результатам проводившихся экспериментов и перспективным проектам. Общее число участников и гостей Конференции – свыше 600.



Эмблема конференции “Научные исследования и эксперименты на МКС”. ИКИ РАН.

МКС – крупнейший в истории человечества международный проект в области науки и техники. Это постоянно действующая исследовательская лаборатория, которая позволяет ученым многих стран использовать уникальные условия космоса: невесомость (микрogrавитация), глубокий



Пресс-конференция. Фото пресс-службы ЦНИИмаш.

вакуум, солнечные излучение и ветер, космические излучения, которые невозможно воспроизвести в наземных условиях. На МКС постоянно присутствуют экипажи, работающие вахтовым методом. Экипаж участвует в экспериментах, следит за их ходом и оперативно реагирует на возникшие изменения и нештатные ситуации. На станции изучаются особенности жизни и работы человека во время длительного пребывания в космосе, что важно для подготовки будущих пилотируемых экспедиций к Луне, астероидам и на Марс.

По программе МКС сотрудничают Роскосмос, NASA, ESA, JAXA (Япония) и CSA (Канада). В число европейских партнеров входят 11 стран: Бельгия, Великобритания, Германия, Дания, Испания, Италия, Нидерланды, Норвегия, Франция, Швейцария и Швеция. Целевое использование МКС осуществляется по следующим основным направлениям:

- фундаментальные исследования и эксперименты;
- развитие и отработка новых технологий для дальнейшего освоения

космического пространства;

- применение возможностей МКС при решении практических задач, например выполнении образовательной программы и популяризации космических исследований.

На Конференции работали шесть секций по трем основным направлениям: “Медико-биологические исследования и эксперименты”, “Астрономия и физика космических лучей”, “Физика ионосферы. Физические процессы. Геофизические исследо-



У макета микроспутника «Чибис-М» на выставке в ИКИ РАН. В центре – доктор физико-математических наук С.И. Климов. Фото пресс-службы ЦНИИмаш.

вания», «Образование и популяризация космических исследований», «Перспективные технологии освоения космического пространства» и «Технические исследования и эксперименты на МКС». Кроме этого, в ходе Конференции состоялись две пленарные и программная сессии. В последнюю были включены обзорные доклады представителей космических агентств: Роскосмоса, NASA и ESA.

Научные и прикладные исследования и эксперименты на борту российского сегмента МКС проводятся под эгидой Координационного научно-технического совета (КНТС) Роскосмоса по программам научно-прикладных исследований и экспериментов на пилотируемых космических комплексах. Совет был образован в августе 1994 г. совместным решением генерального директора Российского космического агент-

ства (ныне Роскосмос) и президента Российской академии наук. В состав КНТС входят авторитетные инженеры-конструкторы, ученые и исследователи из ведущих академических институтов, предприятий и организаций космической отрасли. С 2013 г. КНТС возглавляет первый заместитель генерального конструктора РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, член-корреспондент РАН В.А. Соловьёв. КНТС координирует разработку и научное сопровождение программ научно-прикладных исследований и экспериментов (НПИ) на МКС для различных уровней планирования (долгосрочный, среднесрочный и оперативный). Программа НПИ представляет собой совокупность космических экспериментов, которые планируется осуществить за намеченный промежуток времени.

Сегодня «Долгосрочная программа научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на российском сегменте МКС» содержит 258 экспериментов, которые сгруппированы в шесть тематических разделов:

- физико-химические процессы и материалы в условиях космоса;
- исследование Земли и космоса;
- человек в космосе;
- космическая биология и биотехнология;

– технологии освоения космического пространства;

– образование и популяризация космических исследований.

Возможности МКС используются для решения и практических задач, в первую очередь в области медицины, телемедицины, образования и наблюдения Земли из космоса. Конкретные примеры: создание на борту МКС вакцин; получение изображений земной поверхности, помогающих ликвидировать последствия стихийных бедствий и вести сельское хозяйство; многочисленные образовательные программы, которые проводятся с участием космонавтов.

Конференцию открыли заместитель председателя Правительства РФ А.В. Дворкович и статс-секретарь, заместитель руководителя Федерального космического агентства Д.В. Лысков. Участников заочно приветствовал экипаж Международной космической станции, передавший наилучшие пожелания с орбиты. По словам А.В. Дворковича, партнерство продолжается как с европейскими, так и с американскими коллегами даже в период непростого геополитического противостояния. Правительство России будет поддерживать сотрудничество с Западом по проекту МКС, несмотр-



Член-корреспондент РАН В.А. Соловьёв и академик Л.М. Зелёный открывают Конференцию. Фото О. Волошина, ИМБП РАН.

ря на сложные политические отношения.

В первом программном докладе председатель КНТС В.А. Соловьёв напомнил участникам Конференции историю и рассказал о современном состоянии научных исследований на орбитальных станциях. Говоря о перспективах использования МКС, он упомянул о готовящемся к запуску российского исследовательского модуля “Наука” и назвал ряд новых экспериментов, которые планируется проводить на его борту. Докладчик объявил о том, что российские космонавты на борту МКС получат собственные широкополосные каналы связи с Землей и избавятся от

иностранной зависимости в этом вопросе через 1–2 года. Количество научной аппаратуры на российском сегменте МКС в настоящее время сравнимо с тем ее объемом, которым располагала в последние годы работы орбитальная станция “Мир”. Техническое состояние МКС позволяет эксплуатировать ее даже позже 2024 г.

Интересные статистические факты привела сотрудник ведомства “Программа МКС” Космического центра им. Л. Джонсона NASA Джули Робинсон. До 40-й основной экспедиции в программе научных исследований участвовали 83 страны, к 2015 г. опубликовано более 1100

научных результатов. Дж. Робинсон подчеркнула, что сегодня надо стратегически думать о том, как использовать станцию в ближайшее десятилетие, большую роль в этой программе может сыграть международное сотрудничество.

Краткий обзор программы использования МКС Европейским космическим агентством представил сотрудник Управления пилотируемых космических полетов ESA Рейнхольд Эвальд. Агентство ведет активную работу на станции, к настоящему моменту совместно с Роскосмосом выполнено более 20 экспериментов, в основном по медико-биологическому направлению и материаловедению. ESA хотело бы отправить своего астронавта в годовой полет на МКС, но доля его

участия в проекте не позволяет рассчитывать на это.

Специально для представителей прессы программные докладчики провели пресс-конференцию, в которой также приняли участие директор ИКИ РАН академик Л.М. Зелёный и директор Института медико-биологических проблем РАН академик И.Б. Ушаков. В частности, И.Б. Ушаков заявил, что Россия и США могут провести годовой эксперимент по имитации космического полета, для чего может быть использован наземный комплекс, задействованный в проекте "Марс-500" (Земля и Вселенная, 2008, № 3).

Конференцию сопровождала выставка "Наука на МКС", где были представлены основные научные приборы и

оборудование, которые применялись при проведении космических экспериментов. Ряд стендов был посвящен новым экспериментам, запланированным на ближайшие годы. В выставке приняли участие крупнейшие предприятия и организации ракетно-космической промышленности, институты РАН, ведущие вузы страны, в частности ИКИ РАН, ЦНИИмаш, РКК "Энергия" им. С.П. Королева, ЦПК им. Ю.А. Гагарина, ИМБП РАН, НИИВТ им. С.А. Векшинского, Исследовательский центр Келдыша, НИИЯФ МГУ, МАИ (НИУ).

Завершил Конференцию ставший традиционным День открытых дверей для школьников и студентов в ИКИ РАН. После осмотра выставки все желающие смогли посетить научно-популярные лекции, которые в этом году прочитали президент фонда К.Э. Циолковского и правнук великого ученого, главный специалист РКК "Энергия" С.Н. Самбуров ("К.Э. Циолковский и современные проблемы космонавтики") и руководитель летно-космического центра РКК "Энергия" летчик-космонавт А.Ю. Калери ("Космонавты на орбите и на Земле: хроника 2014 года").



Космонавт О.Г. Артемьев на выставке в ИКИ РАН. Фото О. Волошина, ИМБП РАН.

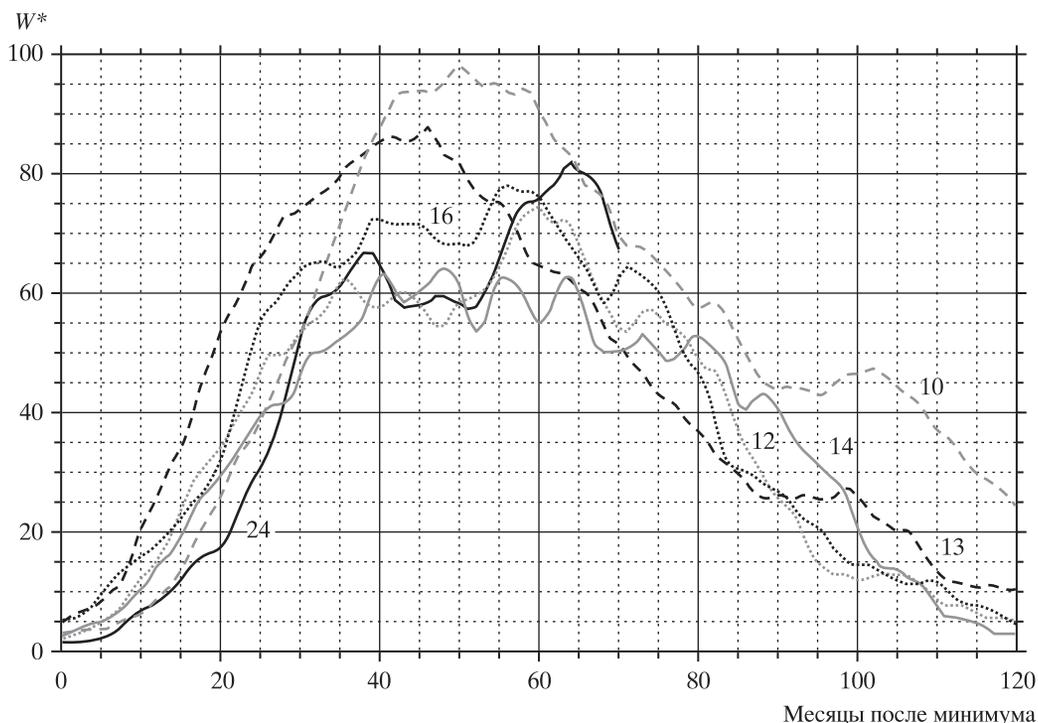
*Подготовила
С.Е. Виноградова*

Солнце в апреле – мае 2015 г.

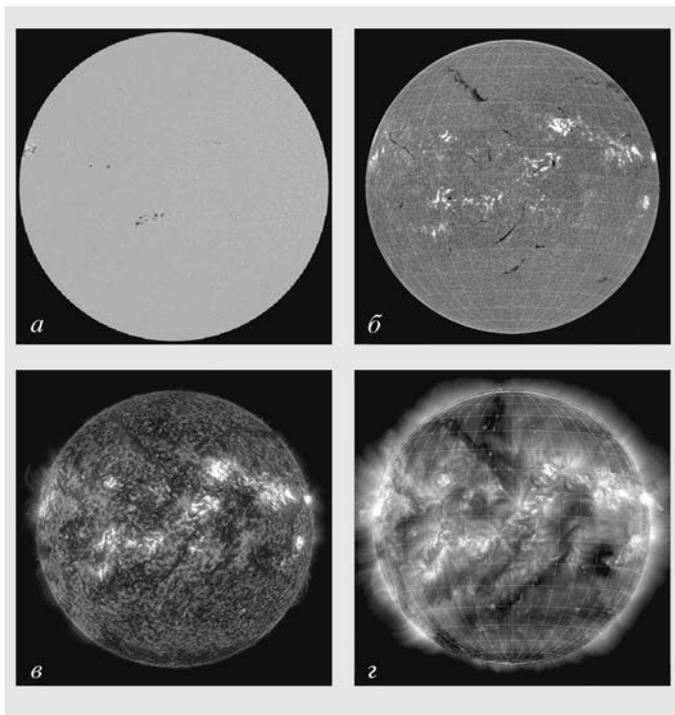
В последние весенние месяцы солнечная пятнообразовательная активность оставалась на уверенном среднем уровне, иногда в течение трех суток увеличиваясь до высокого, а в конце апреля и начале мая (4 сут) – до низкого. Число групп пятен на видимом диске

Солнца менялось от 1 до 11. Группы пятен были в основном небольшими и спокойными, однако в Северном полушарии две из них оказались крупными. Всего же из 39 групп солнечных пятен 21 появилась в Северном полушарии. Кривая роста сглаженных за

год относительного числа пятен уверенно идет на спад. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа $W_{\text{апр.}} = 54,4$ и $W_{\text{мая}} = 58,8$. Сглаженное значение относительного числа солнечных пятен в октябре и ноябре 2014 г. составило $W^* = 67,3$ и $65,4$ соответственно.

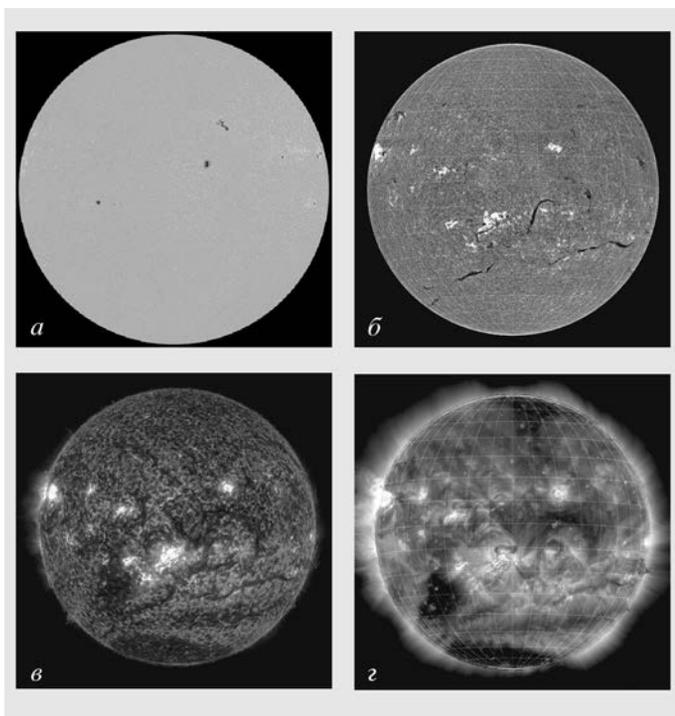


Ход развития (70 месяцев) текущего 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (с 1849 г.) циклов. W^* – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен.

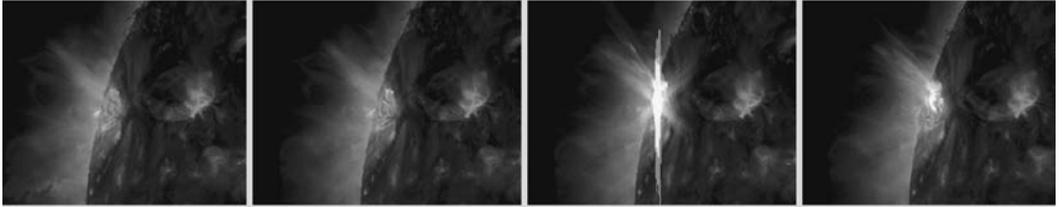


Солнце 21 апреля 2015 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$); б) в самой сильной водородной линии H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$); в) в линии крайнего ультрафиолета He II ($\lambda = 304 \text{ \AA}$); г) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 193 \text{ \AA}$). Космическая солнечная обсерватория "SDO" (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).

В апреле первая и вторая декады характеризовались существенными колебаниями пятнообразовательной активности в пределах значений среднего уровня. Высокий уровень отмечен 22 апреля, затем началось постепенное понижение пятнообразовательной активности до низкого (29–30 апреля). Максимальное ежедневное значение относительных чисел солнечных пятен зарегистрировано **22 апреля ($W = 114$)**, минимальное – 30 апреля ($W = 11$). Вспышечная активность держалась на среднем уровне 8, 12 и 20–23 апреля, 14 и 27 апреля – на очень низком



Солнце 6 мая 2015 г.: 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 He II ($\lambda = 304 \text{ \AA}$); г) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 193 \text{ \AA}$). Космическая солнечная обсерватория "SDO" (<http://spaceweather.com>).



Развитие большой вспышки рентгеновского класса X2.7, возникшей на восточном лимбе Солнца. На третьем кадре – максимум вспышки. Снимки получены 5 мая 2015 г. с 15 ч 36 мин до 22 ч 15 мин по Гринвичу космической солнечной обсерваторией “SDO” (<http://spaceweather.com>)

уровне. Выбросы солнечных волокон (22 события) наблюдались 4, 5, 6, 7 (2), 9, 16, 18 (2), 19–21, 22 (2), 24, 25 (3), 27 и 28 (3) апреля. Возмущение от выброса 4 апреля вызвало магнитную бурю 9–10 апреля. Коронаграфы космической обсерватории “SOHO” зафиксировали 137 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых два были типа “гало”, три – типа “частичное гало III” (угол раствора 180° – 270°) и 16 – типа “частичное гало II” (угол раствора 90° – 180°). Четыре рекуррентные корональные дыры проходили по видимому диску Солнца, две из них внесли весомый вклад в магнитные бури 9–10 и 14–17 апреля. На средних широтах Земли произошли

три малые умеренные магнитные бури: 9–10, 15–17 и 21 апреля. Всего же в геомагнитном поле зарегистрировано восемь возмущенных дней. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ удерживался 16–21 и 24–27 апреля.

В первую декаду мая уровень пятнообразовательной активности Солнца возрастал от низкого в первые два дня до высокого 11–12 мая, затем до 21 мая плавно понижался, оставаясь на среднем уровне. На видимом диске Солнца возникло от 1 до 10 групп солнечных пятен, одна из них большого размера. Минимальное число солнечных пятен отмечено 1 мая ($W = 8$),

максимальное – **11 мая ($W = 113$)**. Высокий уровень вспышечной активности наблюдался 5 мая, когда в выходящей на видимый диск Солнца большой группе пятен Северного полушария случилась мощная солнечная вспышка балла X2.7, которую сопровождали четыре вспышки среднего балла. Они возникали 5–6 мая в течение 26 ч, после чего в этой большой группе пятен до 13 мая значимых вспышек не замечено, затем группа постепенно распалась и 17 мая ушла за западный лимб. Это был единственный период вспышечной активности в мае. Значимых геомагнитных возмущений в околоземном космическом пространстве эти вспышки не

вызвали. Выбросы солнечных волокон (20 событий) осуществились 2, 5, 6 (2), 9 (4), 10, 11 (3), 13 (2), 15, 18 (2), 19, 22 и 23 мая. Коронोगрафы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали более 125 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых один был типа “гало”, два – типа “частичное гало III” (угол раствора 180°–270°) и девять – типа “частич-

ное гало II” (угол раствора 90°–180°). В январе появились четыре рекуррентные и одна вновь образованная корональные дыры. Только одна из них внесла значимый вклад в геомагнитную возмущенность околоземного космического пространства. Всего за месяц были зарегистрированы умеренная (6 мая) и малая (12–13 мая) магнитные бури, пять суток сохранялась возмущенная геомагнит-

ная обстановка. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ отмечен 14–18 мая.

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*

Информация

“Марс Экспресс” исследует Аравийскую Землю

Кратеры в Аравийской Земле (Arabia Terra, 19° с.ш. и 30° з.д.) на Марсе могут иметь вулканическое происхождение. Эта область занимает 4500 км², на востоке и юге региона есть горы высотой до 4 км. Самая крупная структура – Siloe Pateta (28 × 38 км) с крутыми стенками, следами обрушения и плоским дном глубиной

1,5 км – включает в себя два крупных кратера, вложенных один в другой. Такая необычная форма могла возникнуть в результате двух эпизодов вулканической активности. Скорее всего, это остаток обрушившегося древнего супервулкана наподобие Йеллоустоунского на Земле. Снимки кальдеры Siloe Pateta получены АМС “Марс Экспресс” 26 ноября 2014 г. (см. стр. 3 обложки, внизу). Ученые считают, что такой огромный кратер образовался в результате извержения вулкана 3 млрд лет назад. Ввиду отсутствия на Марсе тектоники плит вулкан мог действовать миллионы и даже миллиард лет и вырасти до таких размеров. Извержение сопровождалось мощными взрывами, но, как и у обычных

вулканов, не привело к образованию вулканического конуса, подобного горе Олимп. Из-за этого остатки супервулканов трудно идентифицировать, тем более что в Аравийской Земле обнаружено много кратеров неправильной формы, которые могут оказаться семейством кальдер супервулканов. Судя по размерам, они завалили выброшенным материалом всю планету: по оценкам, каждый из них изверг 4,6–7,2 тыс. км³ лавы и пепла. Равнины Аравийской Земли содержат мелко раздробленные слоистые сульфаты и глинистые минералы, их происхождение связано с эрозией лавы и вулканического пепла.

Пресс-релиз ESA,
28 мая 2015 г.

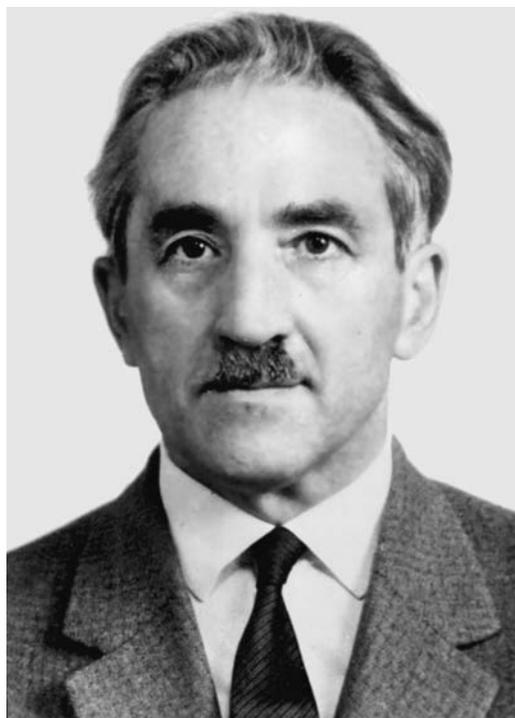
Пётр Григорьевич Куликовский

(К 105-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

Советский астроном и историк астрономии Пётр Григорьевич Куликовский родился 13 июня (31 мая) 1910 г. в Киеве. Решающую роль в его воспитании сыграл отец, человек незаурядных качеств, Григорий Григорьевич Куликовский (1890–1955), выходец из старинного польского дворянского рода, участник двух мировых войн (военный

врач), в дальнейшем один из основоположников авиационной и космической медицины (как в теоретическом, так и в практическом аспектах)¹. Мать, Жанна Николаевна Куликовская (1892–1957, в девичестве Дюбуа), французка, была свободной художницей, увлекалась скульптурой. Оказавшись в ранней юности в России, она также приняла участие в Первой мировой войне, став медицинской сестрой.

Детство будущего астронома прошло в Киеве, школьные годы частью в Петербурге (из которого семья уехала как раз накануне знаменитого наводнения 1924 г.), а вся последующая жизнь – в Москве. Он получил прекрасное домашнее воспитание и начальное обра-



П.Г. Куликовский. 1950-е гг.

¹ Г.Г. Куликовский родился в Полтавской губернии, окончил медицинское отделение Императорского московского университета (1916), был военным врачом, участвовал в двух мировых войнах, доктор медицинских наук (1935), профессор (с начала Великой Отечественной войны), главный оториноларинголог Советской армии (1942), генерал-майор медицинской службы (1943). Его научные труды и изобретения в области авиационной и космической медицины остаются актуальными до сих пор. Он занимал ведущие должности в высших учебных медицинских заведениях и научных учреждениях страны, в отставку был уволен (1949), имея награды: орден Ленина, два ордена Красного Знамени, ордена Трудового Красного Знамени и Отечественной войны I степени, медали.



Ж.Н. Куликовская (Дюбуа) и Г.Г. Куликовский с 5-летним сыном Петей. Около 1916 г.

зование, одинаково владел и русским и французским. С юных лет его увлечениями стали музыка и астрономия. Пётр Григорьевич окончил музыкальное училище им. М.М. Ипполитова-Иванова в Москве по классу фортепьяно. Однако делом жизни выбрал астрономию. Вместе с тем, став ученым, он не раз выступал перед коллегами-астрономами как пианист и композитор.

В середине 1930-х гг. П.Г. Куликовский, еще студентом Московского государственного университета, который окончил в 1938 г., стал работать в Государственном астрономическом институте им. П.К. Штернберга (ГАИШ МГУ). Институт бы создан в 1931 г. и располагался тогда на Красной Пресне на территории Университетской астрономической обсерватории, вошедшей в его состав (Земля и Вселенная, 2006, № 6). В 1938 г. П.Г. Куликовский был принят в штат научных сотрудников ГАИШ, зачислен в аспирантуру института и в том же году (!) защитил кандидатскую диссертацию. В Московском университете он проработал более полувека, в основном в качестве сотрудника Астрономического отделения физического факультета. После выхода в конце

1980-х гг. на пенсию Пётр Григорьевич не порывал тесной связи с МГУ и ГАИШ. В июне 2000 г. его бывшие коллеги вместе с директором ГАИШ, поздравляя ученого с редким юбилеем – 90-летием (и подарив ему при этом 90 красных и одну белую розу), не могли не восхищаться его неиссякаемым интересом к астрономии, делами в ГАИШ, его спортивной выправкой и подтянутой стройной фигурой.

С самого начала областью научной деятельности П.Г. Куликовского стала звездная астрономия (переменные, двойные, сверхновые), а позднее еще и история астрономии. Он проявил себя и в других областях астрономии. Его первые публикации посвящены переменным звездам (1933) и кометам. В 1936 г. с целью метеорологических исследований он наблюдал со стратостата (на высоте 9,5 км) полное солнечное затмение.

Главные собственные научные исследования Петра Григорьевича пришлось на тяжелое для отечественной науки время. Охватившая страну волна политических репрессий накрыла и астрономию: в 1936–1937 гг. были арестованы вместе с другими научными сотрудниками и погибли крупнейшие астрономы – организатор и директор Астрономического института в Ленинграде Б.В. Нумеров и директор Пулковской обсерватории Б.П. Герасимович. Но те, кого миновала такая судьба, в своей деятельности нередко продолжали начатое погибшими учеными.

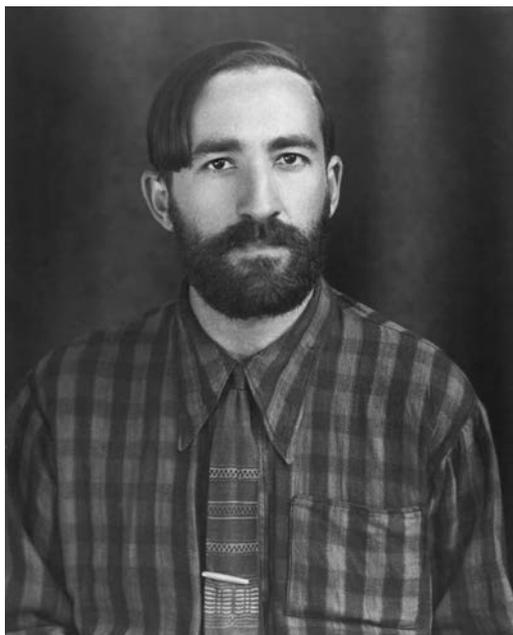
П.Г. Куликовский стал одним из пионеров применения в отечественной астрономии фотоэлектрических методов. В 1936–1937 гг. в ленинградском Астрономическом институте он вместе с ленинградским астрономом В.Б. Никоновым (1905–1987) сконструировал первый отечественный звездный электрофотометр, заменивший уже устаревший к тому времени прибор, изобретенный в 1912 г. известным немецким астрономом–“переменщиком”, одним из пионеров применения фотоэлектриче-

ских методов в астрономии П. Гутником (1879–1947). Импортный электрофотомер Гутника в 1934 г. начал использоваться и в СССР (их приобрели по инициативе Б.П. Герасимовича, тогда директора Пулковской обсерватории, который хорошо знал изобретателя), но с ним можно было исследовать звезды не слабее $5,5^m$. Электрофотомер Никонова – Куликовского отличался не только более высокой чувствительностью. В нем были решены и новые технические задачи. Его высокочувствительная электроизмерительная схема позволяла крепить прибор на подвижной трубе телескопа, а новая оптическая схема обеспечивала возможность сравнивать с блеском звезд (точечных объектов!) интегральный блеск протяженных объектов – комет и туманностей; высокостабильный фотоэлектрический эталон (в качестве которого использовалась медная пластинка с нанесенным на нее порошком из сернистого цинка, активированного солями радия) позволял наиболее точно учитывать атмосферное поглощение. 27 февраля 1938 г. на мехмате МГУ Пётр Григорьевич успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему “О применении фотоэлектрического эффекта в астрономии”. Электрофотомер Никонова – Куликовского был установлен сначала на 15" астрографе на Пресне, а затем, в 1937–1938 гг., использовался на первом советском 13" рефлекторе Н.Г. Пономарёва в Абастумани².

В конце 1930-х гг. Пётр Григорьевич предложил свою классификацию сверхновых звезд (SN) – по форме кривых блеска (опубликована в 1944 г.³,

² *Астрономический журнал*, 1939, т. XVI, вып. 4, с. 54–66. Этот знаменитый первенец советского телескопостроения, созданный в Ленинграде в начале 1930-х гг., был передан на время Пулковской обсерваторией новой обсерватории в Грузии, но в силу ряда обстоятельств так и остался в ней.

³ *Астрономический журнал*, 1944, т. XXI, вып. 5, с. 211–221 на англ. яз., рус. резюме с. 222.



П.Г. Куликовский в Абастумани. Осень 1937 г.

видимо в связи с войной). Не исключено, что стимулом для его исследования послужила первая классификация новых звезд, именно по форме кривых блеска, предложенная Б.П. Герасимовичем (1889–1937; *Земля и Вселенная*, 2014, № 4)⁴. Так же, как Герасимович, Куликовский выделил несколько типов (четыре) кривых – два с острым максимумом и два с плоским максимумом. У последнего он отметил при этом особенность – ступенчатое падение блеска. Он попытался исследовать и распределение вспышек SN по галактикам разных типов. Вместо принятой тогда оценки – в среднем одна вспышка SN за 430 лет – Пётр Григорьевич отметил, что частота вспышек SN растёт от эллиптических к спиральным

⁴ *Циркуляр ГАО*, 1936, № 16, с. 5–10; *Pop. astr.*, 1936, v. 44, pp. 78–83. (См. также А.И. Еремеева // *Историко-астрономические исследования*. Вып. XXI, 1989, с. 253–301).



П.Г. Куликовский со своей коллегой Е.Д. Павловской в круглом зале ГАИШ на Красной Пресне. Конец 1940-х – начало 1950-х гг.

галактикам, где их (в поздних спиральных) вдвое больше. Статья П.Г. Куликовского заканчивалась постановкой проблемы о причине различия кривых блеска у SN. Разумеется, эта пионерская работа имеет в наши дни разве что историческое значение, но говорит о том, что молодой исследователь уже тогда смело брался за наиболее сложные проблемы.

Изучив по литературным источникам и проанализировав движения звезд по их лучевым скоростям и параллаксам, в 1940 г. Пётр Григорьевич подтвердил существование в Галактике заподозренного еще в 1914 г. комплекса генетически связанных звезд, в том числе, что особенно важно для изучения ее эволюции, горячих В-звезд (“поток Скорпиона – Центавра”, позднее известный как ОВ-ассоциация). В 1950–1951 гг. П.Г. Куликовский сотрудничал

с Б.В. Кукаркиным (Земля и Вселенная, 2009, № 6) в начатом последним выявлении связи морфологических характеристик физических переменных звезд (цефеид и др.) с их распределением в нашей звездной системе. Эти исследования, как указывал Б.В. Кукаркин, открывали новый путь к изучению структуры и эволюции Галактики.

В годы Великой Отечественной войны с октября 1941 г. и до возвращения ГАИШ из эвакуации в 1944 г. П.Г. Куликовский работал в Службе времени в Свердловске. После первых месяцев войны, когда Службу времени страны самоотверженно несли на Красной Пресне М.А. Смирнова и А.С. Миролюбова (продолжавшие эту работу вплоть до возвращения ГАИШ в Москву), именно Свердловск был, как писал об этом позднее П.Г. Куликовский, “новой столицей точного времени в нашей



О. Струве и П.Г. Куликовский. Дублин, Ирландия, 1955 г.

стране”, обеспечивая им нужды фронта и тыла.

П.Г. Куликовский стал родоначальником систематических исследований истории отечественной астрономии. В первые же послевоенные годы он организовал и до конца 1960-х гг. возглавлял Комиссию по истории астрономии в Астрономическом Совете АН СССР (на базе которого создан нынешний Институт астрономии РАН). В 1955 г. его усилиями было учреждено первое регулярное отечественное издание трудов по истории отечественной и мировой астрономии – широко известный у нас и за рубежом сборник “Историко-астрономические исследования”. П.Г. Куликовский подготовил как ответственный редактор 11 его выпусков (1955–1972). (Очередной, XXXVIII выпуск этого уникального сборника находится в печати, подготовлен и принят к изданию выпуск XXXIX.)

На нелегком пути борьбы за объективное освещение сложной истории отечественной астрономии Пётр Григорьевич проявил настойчивость и немалое по тем временам мужество. Он в значительной степени способствовал первому в отечественной печати (коллективная монография “Развитие астрономии в СССР. 1917–1967”. М.: Изд-во АН СССР, 1967) “возвращению из небытия” долгие годы замалчивавшихся имен астрономов, ставших в 1930-е гг. безвинными жертвами политических репрессий в СССР⁵.

⁵ Редактором-составителем, а в начале работы также и ученым секретарем редколлекции тома довелось быть автору настоящей статьи, нашедшему в Петре Григорьевиче действительную опору в той нелегкой борьбе за объективность истории советской астрономии.



На X Генеральной ассамблее МАС: Президент МАС А. Данжон (Франция), Генеральный секретарь МАС П. Остерхоф (Нидерланды), астроном из Китая, П. Кудер (Франция), вице-президенты МАС Б.В. Кукаркин и П.Г. Куликовский. Дом Союзов в Москве, 1958 г.

В новом здании ГАИШ, на Воробьёвых горах, по инициативе и благодаря усилиям П.Г. Куликовского была выделена комната для музея истории астрономии. Ныне он находится в старом здании ГАИШ на Красной Пресне. Его развитие продолжил энтузиаст из нового поколения известный астрофизик, также не чуждый истории астрономии, П.В. Щеглов (1932–2001). Ныне этот Музей-обсерватория ГАИШ пользуется широкой известностью, в нем проводятся Дни студента для вновь поступивших на Астрономическое отделение МГУ и ведется просветительская работа среди населения, в том числе читаются лекции для школьников.

С 1952 г. Пётр Григорьевич был активным членом Международного астрономического союза (МАС), работая в двух его комиссиях. Как член Комиссии № 26 (Переменные звезды) он стал одним из инициаторов учреждения меж-

дународного специализированного журнала "Information Bulletin on Variable Stars" ("Информационный бюллетень переменных звезд"), куда стекалась мировая информация о переменных. В послевоенные годы П.Г. Куликовский стал одним из основателей и чрезвычайно деятельным членом новой Комиссии № 41 (История астрономии) МАС, которую возглавлял в течение двух сроков (1958–1964). Много сил он затратил на участие в разработке намечавшегося многотомного международного издания по всеобщей истории мировой астрономии. И хотя проект в полном виде осуществить не удалось, он не забыт и в дальнейшем получил новое направление для реализации в виде составления общей хронологии по истории астрономии – по инициативе одного из президентов Комиссии № 41 МАС российского астронома А.А. Гурштейна, проживающего в настоящее

время в США. В этой части деятельности П.Г. Куликовский проявил свои незаурядные способности и энтузиазм организатора науки.

П.Г. Куликовский не раз бывал за рубежом и лично знал многих астрономов. Особенно он сблизился с американским астрофизиком Отто Струве (1897–1963), последним представителем знаменитой пулковской астрономической династии. Неоценимый творческий вклад Пётр Григорьевич внес в организацию и проведение в 1958 г. в Москве X Генеральной Ассамблеи МАС – “едва ли не первого в стране по-настоящему крупного научного конгресса после падения железного занавеса”, (по отзыву А.А. Гурштейна). Далеко не все наши астрономы считали возможным для себя потратить на это целых два года в ущерб собственным научным работам, как это сделал П.Г. Куликовский. Но цель оправдала средства: Москву посетили, помимо отечественных, крупнейшие астрономы и деятели астрономического просвещения. Участниками ассамблеи стали Х. Шепли, Дж.П. Койпер, Я. Оорт, Х.С. Джонс, Х.К. Юри, Е. Рыбка⁶. Несмотря на весьма преклонный возраст, на московскую ассамблею приехала и привлекла немалое внимание вдова знаменитого астронома-просветителя К. Фламариона (Земля и Вселенная, 1967, № 2; 1992, № 1)⁷, хранительница



Доцент Астрономического отделения физического факультета МГУ П.Г. Куликовский.

его научного наследия Габриэль Фламарион (1877–1962), которая в ответ на вопрос анкеты, что нужно для достижения успехов в астрономической и просветительской деятельности, ответила просто: “Travailler toute la vie” (работать всю жизнь). До наших дней ветераны МАС вспоминают об этом событии как о поворотном моменте в непростых отношениях между астрономами СССР и Запада.

В 1962–1984 гг. под научной редакцией П.Г. Куликовского было издано по заданию МАС (Комиссия № 41) 20 выпусков наиболее представительного библиографического указателя “Избранная библиография литературы по истории астрономии”. Составителем ее стала ближайшая помощница Петра Григорьевича Н.Б. Лаврова – в те годы главный библиограф научной библиотеки МГУ им. А.М. Горького, работавшая в ГАИШ. Многие годы П.Г. Куликовский успешно сотрудничал в редколлегии широко известного международного

⁶ Не приехал лишь О. Струве. Видимо, этому помешали тяжелые воспоминания о времени его эмиграции из России в 1920-е гг. и, не исключено, новые опасения, связанные с этим. Но через выпускавшуюся в Москве газету ассамблеи “Космос” О. Струве обратился к ее участникам с сердечным приветствием и особо отметил успех советской астрономии – запуск первого ИСЗ 4 октября 1957 г., напомнив также, что проведение очередной ассамблеи МАС в СССР было предложено им в Дублине в 1955 г., когда он был президентом МАС.

⁷ См. также: А.И. Еремеева. Историко-астрономические исследования. Вып. XXIX, 2004, с. 167–208.



П.Г. Куликовский в день своего 90-летия и П.В. Щеглов. 13 июня 2000 г.

журнала “The Journal for the History of Astronomy” (“Журнал по истории астрономии”), издаваемого английским историком астрономии М. Хоскином⁸.

Пётр Григорьевич (кстати, как и Г.Г. Куликовский) проявил себя талантливым преподавателем и даже считал именно эту деятельность своим подлинным призванием. Как доцент Астрономического отделения физического факультета МГУ, он читал курс по звездной астрономии и спецкурс “Двойные звезды”. В 1948 г. П.Г. Куликовский читал (параллельно с И.Ф. Полаком, который вел историю общей астрономии) курс по исто-

рии отечественной астрономии и внес вклад в дело защиты реальных приоритетов отечественных астрономов, прежде всего М.В. Ломоносова. После кончины Б.В. Кукаркина Пётр Григорьевич возглавил кафедру звездной астрономии и астрометрии (1977–1978) и тем самым на некоторое время сохранил ее как самостоятельное подразделение Астрономического отделения МГУ (хотя в дальнейшем она была разделена, и “звездники” по формальной причине – ввиду отсутствия на тот момент на кафедре профессоров по этой специальности – были присоединены к астрофизикам⁹).

П.Г. Куликовский – автор свыше 150 работ по астрономии и ее истории. Наиболее важная среди них, по мнению современных специалистов, – коллективный учебник “Практические работы по звездной астрономии” (1971), в котором большую статью написал Пётр Григорьевич (одновременно и главный редактор учебника). Ему же принадлежит учебный курс “Звездная астрономия” (1978, 1985). Весомым вкладом П.Г. Куликовского в историю отечественной науки стали глубоко содержательные и талантливо написанные книги: “Павел Карлович Штернберг” (М.: Наука, 1951, 1987), “М.В. Ломоносов: астроном и астрофизик” (три издания, 1947–1986). Он написал также статьи о Н. Копернике, Я. Гевелии, С.Н. Блажко, об истории отечественных и зарубежных обсерваторий (Абастуманской и древнекитайской). (О тесной связи ГАИШ с китайскими астрономами говорит и то, что в музее ГАИШ в качестве ценного экспоната хранится пода-

⁸ О международном авторитете сборника “Историко-астрономические исследования” можно судить по неизменному интересу Института астрономии в Кембридже к этому сборнику, которым уже свыше 40 (!) лет автор настоящей статьи обменивается с библиотекой Кембриджского института и обсерватории, получая взамен упомянутый английский журнал Хоскина.

⁹ Пётр Григорьевич, по его собственным словам, оставался доцентом, не считая нужным тратить силы на хлопоты о профессорском звании или докторской степени. Надо сказать, среди астрономов, а возможно и вообще естественников, в отличие от гуманитариев, особенно экономистов последних лет, подобная позиция не редкость.

ренный во времена П.Г. Куликовского макет древней Пекинской обсерватории). П.Г. Куликовский – также автор более общих работ по истории астрономии. Он написал главу “Исследования по истории астрономии” в названной выше коллективной монографии 1967 г., а также монографию “История астрономии и геодезии” (в соавторстве с В.Г. Селиханович, 1968). Особо ценной заслугой и, можно сказать, делом жизни Петра Григорьевича стал его “Справочник любителя астрономии”, выдержавший пять прижизненных изданий (первое – в 1947 г., последнее – в 2002 г., существенно обновленное, вышло под редакцией В.Г. Сурдина – представителя нового поколения “звездников” ГАИШ; Земля и Вселенная, 2002, № 4, с. 109). Пётр Григорьевич успел подписать подарочные экземпляры своей книги. “Справочник Куликовского”, как его обычно называют до сих пор, – полезное пособие и для любителей, и для профессиональных астрономов. В обновленном виде (в редакции В.Г. Сурдина, 2008 г.) он продолжает регулярно переиздаваться в факсимильном виде.

П.Г. Куликовский – автор нескольких музыкальных пьес, среди них – реквием памяти его большого друга Отто Струве. Исполнение реквиема с восторгом встретили и за рубежом участники конференции, посвященной памяти О. Струве¹⁰.

Пётр Григорьевич был главой счастливой и дружной семьи: его жена и очень близкий ему по духу человек Наталья Дмитриевна (урожденная Юва-



На концерте в ГАИШ МГУ. За пианино – П.Г. Куликовский. 1977 г.



Пётр Григорьевич и Наталья Дмитриевна с дочерью Еленой (Алей). Абрамцево, 1957 г.

¹⁰ Запись в электронной версии реквиема в оркестровой обработке одного из молодых московских музыкантов, участника концертной деятельности в ГАИШ Евразийского астрономического общества, была любезно доставлена на конференцию американским астрономом и большим другом и коллегой автора настоящей статьи Р. Маккатченем. Он и рассказал о восторженной реакции слушателей.

лова, 1918–1993), как и ее тещь, имела специальность отоларинголога. МГУ закончили дочь Елена Петровна Вязова, биохимик (1947 г.р.), и внучка Екатерина Сергеевна Вязова, историк искусства (1970 г.р.). В год столетней годовщины П.Г. Куликовского семья пополнилась правнучкой Натальей

Дмитриевной, Тусей. Пётр Григорьевич был долгожителем, он скончался 4 ноября 2003 г. на 94-м году жизни. Его имя увековечено в наименовании малой планеты № 2497.

Автор выражает глубокую признательность наследникам П.Г. Куликовского за предоставленные ценные материалы по истории семьи, а также

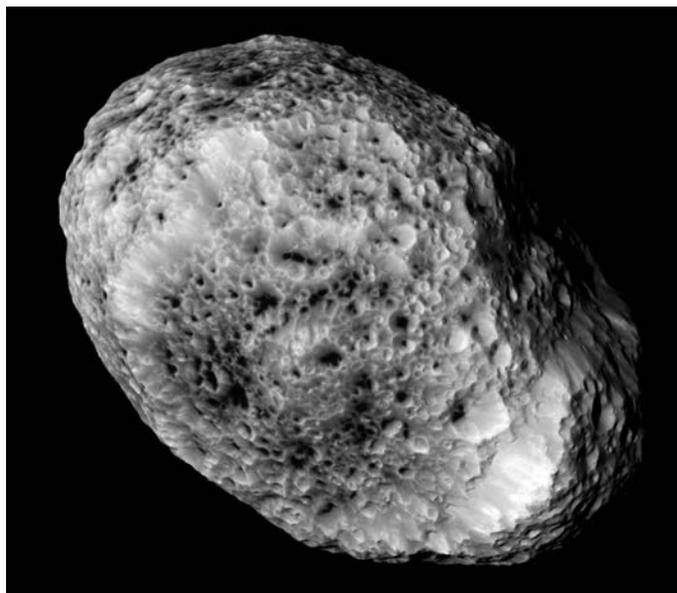
доктору физико-математических наук Н.Н. Самусю за неоднократное прочтение, критические замечания и существенную помощь при доработке статьи.

*А.И. ЕРЕМЕЕВА,
кандидат физико-математических наук
ГАИШ МГУ*

Информация

Последний снимок Гипериона

31 мая 2015 г. АМС “Кассини” последний раз сблизилась со спутником Сатурна Гиперионом (расстояние – 34 тыс. км) и передала на Землю его фотографии. Гиперион – один из самых необычных тел в системе Сатурна, он неправильной формы (225 × 280 × 360 км), из-за сильных гравитационных возмущений Титана вращается вокруг своей оси хаотично. Гиперион обладает очень низкой средней плотностью, почти вдвое меньше плотности воды, это указывает на множество пустот внутри него. Поверхность спутника выглядит как губка, испещренная многочисленными впадинами (Земля и Вселенная, 2006, № 1, с. 101–105).



Спутник Сатурна Гиперион. Снимок сделан 31 мая 2015 г. АМС “Кассини” с расстояния 60 тыс. км (разрешение – 360 м). Фото NASA/JPL.

16 июня 2015 г. АМС “Кассини” пролетела мимо Дионы на расстоянии 516 км. В октябре станция совершила два пролета у Энцелада (во второй раз – всего в 48 км). В конце 2015 г. она покинет экваториальную плоскость Сатурна,

где проходят орбиты всех его регулярных спутников, и приступит к заключительной части программы – опасным пролетам между Сатурном и его кольцами.

Пресс-релиз NASA,
2 июня 2015 г.

Исследование полного солнечного затмения 20 марта 2015 г.

С.А. ЯЗЕВ,
доктор физико-математических наук
директор Астрономической обсерватории ИГУ
ИСЗФ СО РАН, Иркутск

20 марта 2015 г. состоялось очередное полное солнечное затмение. Тень Луны упала на земную поверхность в северной части Атлантического океана и в дальнейшем двигалась на северо-восток, через акваторию Северного Ледовитого океана. Единственными обитаемыми фрагментами суши в пределах полосы полного затмения оказались датские Фарерские острова и норвежский архипелаг Шпицберген. Экспедиция из семи человек (кандидат физико-математических наук М.Г. Гаврилов, М.А. Меркулов, В.В. Рябенко, Д.В. Семёнов, Е.Д. Скарעדнева, М.В. Чекулаев и доктор физико-математических наук С.А. Язев), организованная Иркутским государственным университетом, работала в составе международной российско-белорусской коман-

ды, сформированной А.Л. Мананниковым (Земля и Вселенная, 2015, № 4). Чрезвычайно повезло с погодой: именно 20 марта на Шпицбергене

был единственный за две предыдущие недели солнечный день. Удалось получить изображения короны с набором различных экспозиций, а также (уже



*“Бриллиантовое кольцо” короны Солнца. 20 марта 2015 г.
Фото М.Г. Гаврилова.*



Алексей Павлович Ганский.

не для научных целей) фотографии “бриллиантового кольца” – ситуации, когда ослепительный край Солнца выглядит из-за черного диска Луны.

ТИПЫ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ

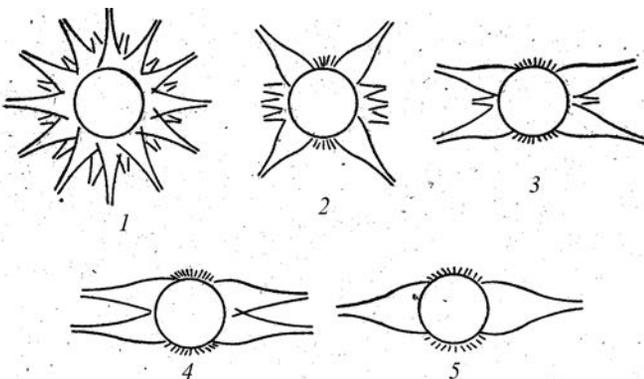
Главной задачей иркутской экспедиции было

получить набор изображений короны с разными экспозициями для определения ее морфологического типа.

Считается, что установить связь между формой затменной короны Солнца и фазой 11-летнего цикла активности впервые удалось в 1897 г. российскому астроному, геодезисту и гравиметристу Алексею Павловичу Ганскому (1870–1908; Земля и Вселенная, 1971, № 3). Он участвовал в экспедициях на Новую Землю, в Испанию и Туркмению для наблюдения полных солнечных затмений. В определенном смысле А.П. Ганский оказался давним предшественником нашей экспедиции: он тоже работал на Шпицбергене в 1899 г. и 1901 г., занимаясь, впрочем, не астрономическими, а гравиметрическими измерениями.

Исследуя имевшиеся в его распоряжении зарисовки и снимки затмений (включая полученные им лично во время экспедиции на Новую Землю превосходные изображения затмения 1896 г.), А.П. Ганский отметил, что во время максимума солнечной активности корона окружает Солнце в виде равномерного сияния, а в годы минимума корона вытягивается вдоль солнечного экватора. Анализ изображений короны, полученных во время 12 затмений, позволил А.П. Ганскому выделить три основных морфологических типа короны – максимальный, промежуточный и минимальный.

Более подробную классификацию типов короны на основе снимков конца XIX в. – первой половины XX в. предложил киевский астроном Алексей Тимофеевич Несмянович. Феноменология короны связывалась с параметром F , описывающим фазу цикла солнечной активности от максимума до следующего максимума: $F = T - T_{\min} / |T_{\max} - T_{\min}|$, где T – момент полного затмения, T_{\max} и T_{\min} – моменты максимума и следующего за максимумом минимума цикла. Значения F равны единице в момент максимума цикла, они положительны на ветви подъема цикла и отрицательны на ветви спада.



Классификация типов затменной короны по А.Т. Несмяновичу: 1 – максимальный, 2 – предмаксимальный или постмаксимальный, 3 – предминимальный или постминимальный, 4 – минимальный, 5 – идеально-минимальный.

ТИПЫ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ ПО А.Т. НЕСМЯНОВИЧУ

№	Тип короны	Полярные лучевые системы	Корональные лучи	Фаза цикла
1	максимальный	не наблюдаются	радиальные, на всех широтах	$ F > 0,85$
2	предмаксимальный или послемаксимальный	наблюдаются хотя бы в одном полушарии	радиальные либо с небольшим наклоном, на высоких широтах	$0,5 < F < 0,85$
3	предминимальный или послеминимальный	хорошо развиты в обоих полушариях	сильно наклонены к плоскости экватора	$0,15 < F < 0,5$
4	минимальный	сильно развиты в обоих полушариях	параллельны плоскости экватора	$ F < 0,15$
5	идеально минимальный	сильно развиты в обоих полушариях	расположены вдоль плоскости экватора	$ F < 0,05$

КОРОНА 2015 ГОДА

Два отряда Иркутской экспедиции выполнили успешные съемки короны во время затмения 20 марта 2015 г. Анализ полученных снимков позволил сделать следующие выводы.

В короне удалось выделить, по крайней мере, девять высоких корональных структур, в том числе шесть – в Северном полушарии. При этом длинные корональные лучи Северного полушария были практически радиальными. Среди этих образований был и высокоширотный луч. Широта середины его основания на северо-восточном лимбе составила 82° . В полярной области не просматривались полярные лучевые структуры в форме “щетки” или “перьев”. Такой вид коро-

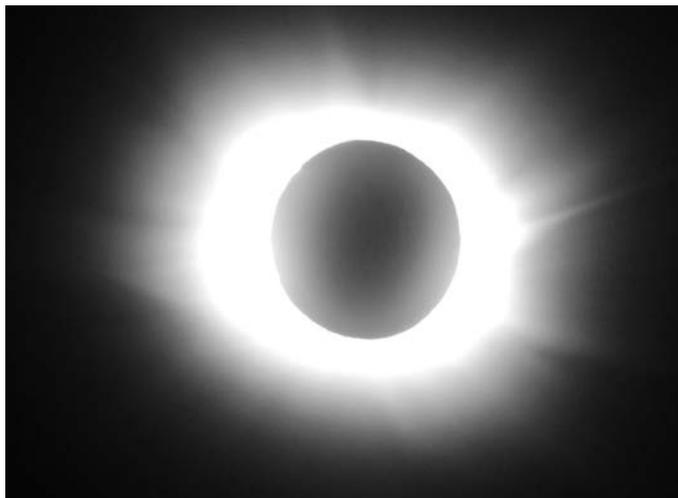
ны (тип 1) характерен для максимальной фазы цикла солнечной активности.

В Южном полушарии ситуация была иной.

Здесь выделялись только три высоких корональных луча, заметно отклоняющихся от радиального направления к плоскости



Корона Солнца 20 марта 2015 г. Снимок сделан М.Г. Гавриловым с помощью фотокамеры “Canon PowerShot SX50 HS”, диафрагма – $f/6.5$, выдержка – $1/160$ с, ISO 500.



Корона Солнца 20 марта 2015 г. Снимок сделан В.В. Рябенко фотокамерой "NIKON COOLPIX P600", диафрагма – f/5.6, выдержка – 1/80 с, ISO 400.

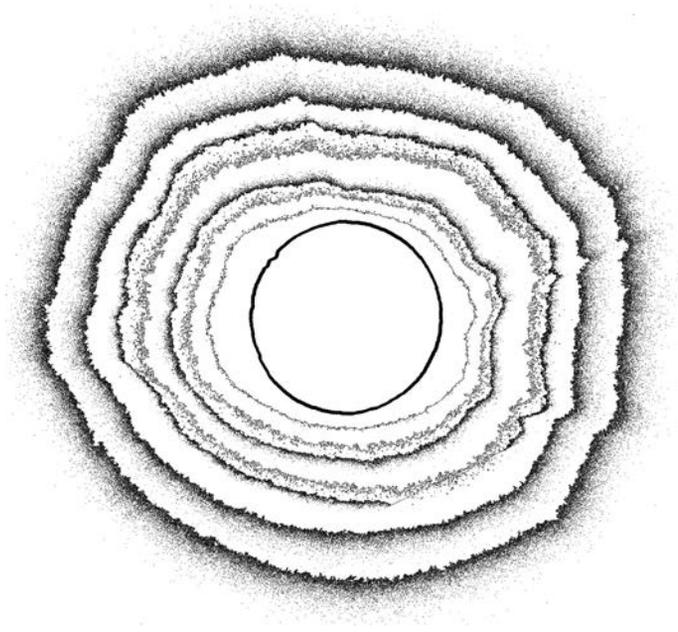
солнечного экватора и находящихся на сравнительно низких широтах. В полярной области Солнца наблюдалась система лучевых квазирадialных структур, отклонявшихся с высотой к плоскости экватора. Подобная картина типична, скорее, для предминимальной короны (тип 3) или, в крайнем случае, для постмаксимальной (тип 2).

Пожалуй, впервые за всю историю исследований солнечной короны во время затмений оказалось невозможным отнести ее форму к какому-либо типу по классификации Несмяновича, если рассматривать картину в целом. Ситуация в Северном и Южном полушариях существенно различалась.

Еще один параметр, зависящий от фазы цикла солнечной активности, – индекс сжатия короны, введенный Ф. Людендорфом в 1928 г. и отражающий асимметрию короны над лимбом Солнца, на высоте $2 R_{\odot}$. В период максимума цикла этот параметр близок к нулю, во время минимума он может достигать 0,4. Согласно нашим измерениям, индекс Людендорфа во время затмения 2015 г. составил 0,09, что, как правило, соответствует максимуму либо постмаксимуму типам короны.

АСИММЕТРИЧНЫЙ ЦИКЛ

Явная северо-южная асимметрия, проявившаяся в морфологии ко-



Корона Солнца. Изофоты получены с использованием набора снимков, сделанных М.Г. Гавриловым, В.В. Рябенко и М.В. Чекулаевым.

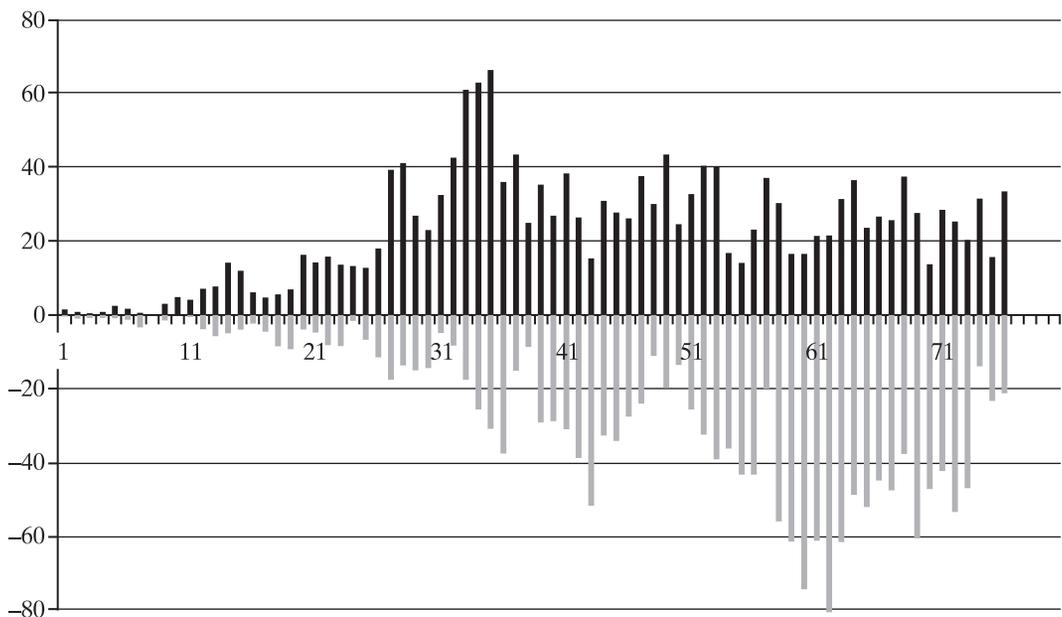


График развития 24-го цикла солнечной активности. Ось абсцисс – количество месяцев от начала цикла (январь 2009 г.), ось ординат – среднемесячные значения чисел Вольфа для Северного и Южного полушарий Солнца.

роны во время затмения, очевидно, тесно связана с глубокой асимметрией развития солнечной активности, которая наблюдается в ходе текущего 24-го цикла, характеризующегося двумя максимумами. Первый максимум, произошедший в феврале 2012 г. (39 месяцев от начала цикла, сглаженное значение $W^* = 66,9$; Земля и Вселенная, 2012, № 4), порожден преимущественно активностью пятен Северного полушария, после этого она заметно уменьшилась. Второй максимум, в апреле 2014 г. (64 месяца от начала цикла, $W^* = 81,9$; Земля и Вселенная, 2014, № 5), обуслов-

лен усилением активности пятен в Южном полушарии. Не лишним будет добавить, что ситуация, когда второй максимум в цикле оказался выше первого на 22%, сложилась впервые за всю историю достоверных наблюдений Солнца.

Как отметил иркутский гелиофизик А.В. Мордвинов, слабые магнитные поля активных областей Северного полушария Солнца, дрейфуя к северному полюсу, долго не могли обеспечить магнитную переполюсовку. Обычно она происходит на фазе максимума цикла, но в 24-м цикле переполюсовка случилась существенно позднее первого (северного) максиму-

ма цикла. Из-за слабости “нового” поля вплоть до затмения 2015 г. так и не сформировалась полярная корональная дыра, где обычно возникают полярные лучевые структуры. Поэтому их и не было на севере во время наших наблюдений.

Более сильные магнитные поля активных областей Южного полушария, несмотря на то что максимум здесь оказался на два года позже, быстрее обеспечили эффективную переполюсовку и последующее возникновение обширной полярной корональной дыры на южном полюсе Солнца. Именно поэтому здесь не могли возникнуть высокоширотные корональ-

ные лучи (они не образуются над корональными дырами), но зато получили развитие полярные лучевые структуры, характерные для открытого магнитного поля корональной дыры.

Текущий 24-й цикл демонстрирует множество необычных свойств. Сильная северо-южная асимметрия, по-видимому, впервые проявившаяся в структуре короны столь ярко, требует,

с точки зрения автора, тщательного изучения. Можно ожидать еще сюрпризов на фазе спада цикла, поэтому необходим анализ формы короны при очередном затмении в марте 2016 г.

Информация

Темная материя в скоплениях галактик?

Группой астрономов под руководством Д. Харви (Федеральная политехническая школа Лозанны, Швейцария) изучены изображения 72 взаимодействующих скоплений галактик, полученные за последние годы с помощью космической обсерватории “Чандра” и КТХ. Исследование затрагивало загадочную темную материю – субстанцию, которая составляет большую часть Вселенной и взаимодействует сама с собой (Земля и Вселенная, 2009, № 5; 2012, № 5). Снимки синтезировали из изображений в видимом диапазоне и рентгеновском. На них ученые нашли, возможно, области темной материи, сформировавшиеся после столкновений скоплений галактик

MACS J0416.1–2403, Mac J0152.5–2852, Mac J0717.5 + 3745, Abell 370, Abell 2744 и ZwCl 1358 + 62 (см. стр. 2 обложки).

Скопления галактик – крупнейшие гравитационно-связанные объекты во Вселенной, они состоят из трех компонентов: звезд, облаков горячего газа и темной материи. Наблюдая за скоплениями, ученые пытаются понять: сказываются ли столкновения между ними, длящиеся сотни миллионов и даже миллиарды лет, на состоянии сгустков темного вещества. Сравнивались скопления галактик на разных этапах их взаимодействия. В результате предложено два возможных варианта поведения темного вещества во время столкновений. В первом случае частицы темного вещества взаимодействуют между собой слабо, но часто, поэтому области с темным веществом замедляют свое движение. Второй вариант подразумевает редкие, но достаточно сильные взаимодействия частиц: частицы темного вещества разлетаются в окружающее межгалактическое пространство. Оба возможных явления

можно зафиксировать, так как замедление скорости темного вещества вызовет изменения в структуре галактик, снизит скорость их движения и сместит звезды, а выброс темного вещества в окружающее пространство скажется на общей массе галактик. Метод гравитационного линзирования позволяет обнаруживать сгустки темной материи, так как их гравитация увеличивает и искажает вид отдаленного источника.

Оказалось, что предложенные варианты не верны: сгустки темного вещества проходят сквозь друг друга, будто их вовсе нет. Это значит, что частицы темного вещества, если они существуют (в чем авторы исследования сомневаются), взаимодействуют между собой намного слабее, чем обычное вещество, либо оно вообще отсутствует. В итоге сузились характеристики физических свойств темного вещества, по которым продолжатся его поиски. Результаты исследований опубликованы в журнале “Science”.

Пресс-релиз NASA,
27 марта 2015 г.

Проектирование и строительство любительских обсерваторий¹

КЛУБНЫЕ И ШКОЛЬНЫЕ ОБСЕРВАТОРИИ

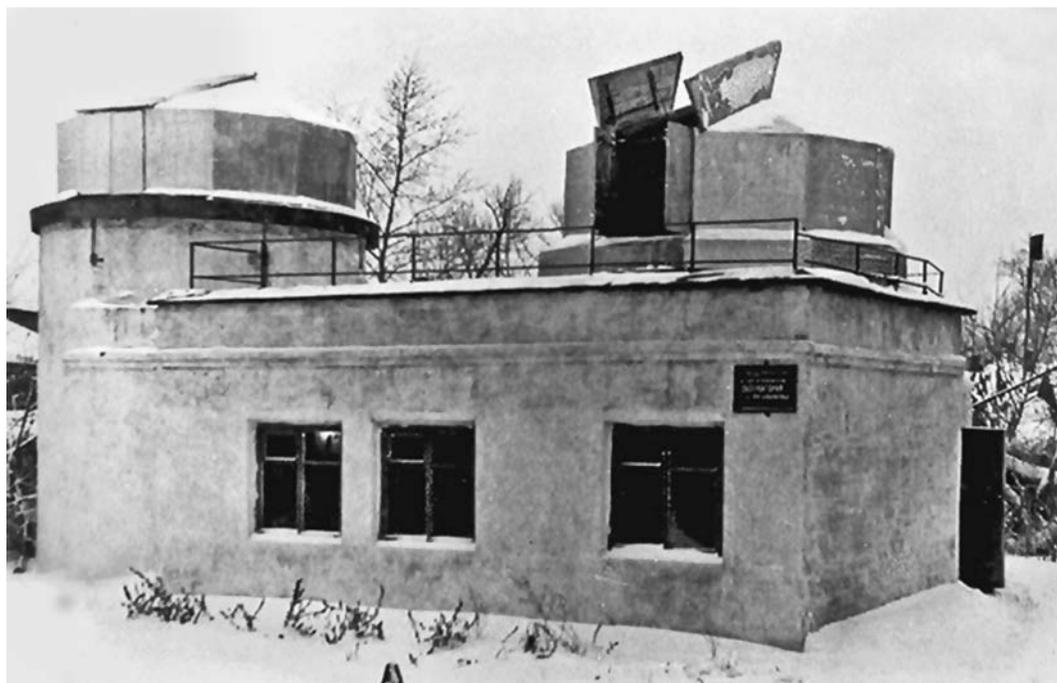
Несмотря на точку зрения Министерства образования и науки Российской Федерации, астрономия в нашей стране остается одной из самых популярных естественных наук. Об этом свидетельствуют многолетние опросы читателей журнала "Наука и жизнь". В стране строятся общедоступные обсерватории при учреждениях дополнительного образования детей, при отдельных школах и университетах, особенно интересны обсерватории, построенные клубами любителей астрономии и телескопостроения.

Первый опыт автора статьи в строительстве клубной обсерватории относится к далекому 1962 г. Тогда выдающийся педагог-энтузиаст Станислав Сергеевич

Войнов, к сожалению скончавшийся 16 марта 2015 г., организовал астрономический кружок на областной станции юных техников в Новосибирске. Занятия проходили в крошечной комнате площадью всего 4 м²! В отчаянии С.С. Войнов предложил построить на территории станции небольшое здание обсерватории. Несложный проект обсерватории выполнил я, в недалеком прошлом студент инженерно-строительного института. Средств на строительство выделили немного, так что пришлось довольствоваться минимумом. Планировка получилась достаточно удачной. Обсерватория состояла из прихожей (8 м²), классной комнаты (20 м²), механической мастерской (18 м²), фотолaborатории (6 м²) и холодного склада (8 м²). На ее плоской крыше построены два купола. В качестве примера мы ис-

пользовали башню Двеветвовского телескопа обсерватории Ок-Ридж Гарвардского университета (штат Массачусетс). В западной части смонтировали самодельный 165-м рефлектор Ньютона на вилочной монтировке с отличной оптикой и вполне приличной механикой. В восточной башне был установлен 250-мм сидеростат (плоское зеркало) 140/3600 мм солнечного полярного телескопа. Несмотря на несколько неказистый вид, обсерватория была достаточно удобной. Ее подключили к водяному отоплению в общей системе отопления главного здания Новосибирской областной станции юных техников. Фотолaborатория была обеспечена водоснабжением и канализацией, врезанной в систему станции юных техников. При создании обсерватории были допущены серьезные просчеты,

¹ Продолжение, начало в № 4, 2015.



Южный фасад обсерватории им. Ю.В. Кондратюка Новосибирской областной станции юных техников. Западная башня – слева, восточная – справа. 1964 г.

познакомим с ними читателей во избежание подобных ошибок.

Самодельный 165-мм рефлектор Ньютона с хорошей оптикой мы установили на капитальной стене толщиной 52 см, служившей ему фундаментом. Теплая часть здания, в том числе и стена, на которой был рефлектор, в зимние месяцы излучала много тепла, и сильные потоки теплого воздуха безнадежно портили изображение. Труба полярного телескопа выходила из теплого помещения прямо в башню и служила вытяжной трубой для теплого воздуха. Попытки поместить

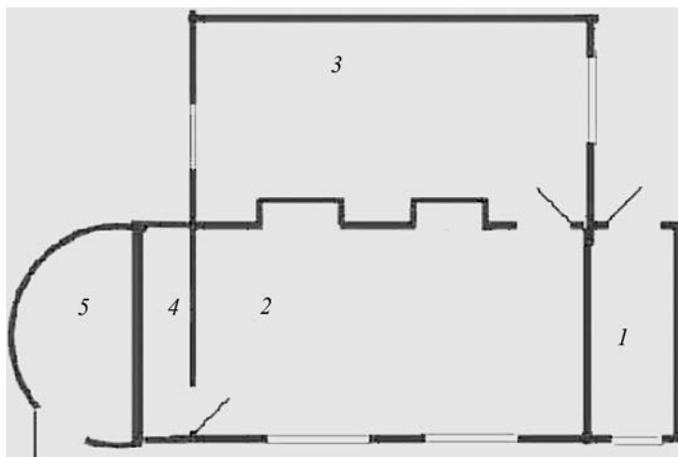
ее в теплоизоляционный кожух не дали ощутимого результата. В теплое время года инструменты обсерватории давали вполне качественное изображение, но основная часть наблюдений на нашей широте проводится в холодное время года, поэтому зимой мы мучились. Нельзя сказать, что в годы проектирования и строительства этой обсерватории мы не знали о таких неприятностях, но отсутствие достаточного опыта не позволило нам их серьезно оценить. Тем более что, изучая обсерватории, построенные в прошлые годы, мы сталкивались с

подобными проблемами. Но не удалось учесть, что эти обсерватории располагались в основном в южных широтах, где нет суровых зим. Например, замечательную обсерваторию Университета в Беркли на широте $37,5^\circ$ с.ш. расположили на крыше здания. Здесь кроме двух башен есть открытая площадка для обзорных визуальных наблюдений неба.

Но даже и там, в южных широтах, стремятся строить обсерватории подальше от теплых помещений. Подобным примером у нас в России может

служить обсерватория Всероссийского детского оздоровительного лагеря "Орленок", расположенного на берегу Чёрного моря (44°15' с.ш.). Ее директором был мой старинный друг С.С. Войнов в последние годы жизни. Большая высота башни объясняется тем, что с востока горизонт почти перекрыт соседней горой. Обратим внимание на то, что башни и основное помещение обсерватории с классными комнатами значительно разнесены. Под куполом башни установлен 300-мм телескоп Кассегрена – Нэсмита. К сожалению, место для обсерватории выбрано крайне неудачно. Дело в том, что с запада от обсерватории находится Чёрное море, нагреваясь за день, ночью оно излучает тепло, поэтому изображения получаются крайне неудовлетворительными. Во время визита в "Орленок" С.С. Войнов обратил мое внимание на "дрожание" Венеры от потоков теплого воздуха. Было совершенно бессмысленно подходить к телескопу.

В ходе проектирования клубных обсерваторий следует помнить, что деятельность клуба обычно не ограничивается телескопическими наблюдениями, она направлена главным образом на постоянное совершенствование инструментальной базы. Если клуб



План обсерватории Новосибирской областной станции юных техников им. Ю.В. Кондратюка: 1 – прихожая, здесь же размещается полярный солнечный телескоп, 2 – классная комната и комната для собраний, 3 – механическая мастерская, 4 – фотолaborатория, 5 – холодный склад.



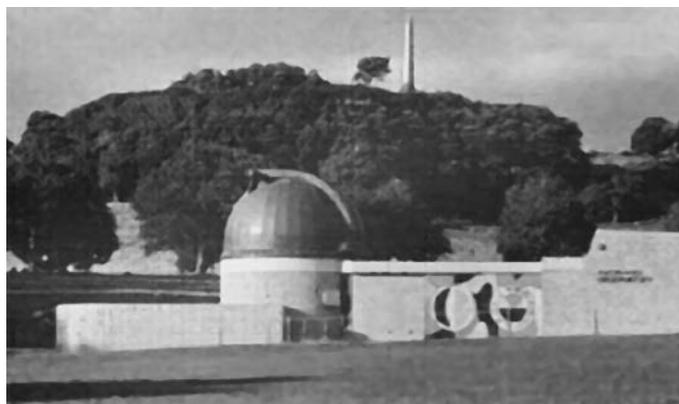
Обсерватория на здании Университета в Беркли (штат Калифорния). Журнал "Sky and Telescope", сентябрь 1962 г.

действует при уже существующих учреждениях с механическими мастерскими, проблема обеспечения обсерватории станочным парком обычно решена. Нужно иметь в виду, что кружковцы часто строят телескопы

различного назначения, для которых изготавливают и оптику. В этом случае необходимо организовать оптическую мастерскую. В проекте обсерватории Ричлендского астрономического общества удачно исполь-



Обсерватория на территории Всероссийского детского оздоровительного лагеря “Орленок” в Крыму. Фото С. Сафонова.



Обсерватория астрономического центра Монреаля (Канада). Теплое помещение центра содержит, кроме комнаты собраний, мастерскую. Журнал “Sky and Telescope”, октябрь 1962 г.

так как сейчас предмет “астрономия” исключен из школьной программы, остается факультативом и входит в программу дополнительного (внешкольного) образования. Главные задачи и особенности школьной обсерватории следующие:

- демонстрация Солнца, Луны, планет, некоторых туманностей, звездных скоплений и галактик; обычно достаточно одного телескопа диаметром 150–200 мм и с соответствующими увеличениями от 25–30 до 300–400 крат;

- необходимость знакомить школьников с видом звездного неба (со-

зован рельеф местности для выразительности всего комплекса.

В наши дни школьную обсерваторию можно причислить к клубной,

звезда, Млечный Путь, метеоры, серебристые облака) при наблюдении невооруженным глазом; более всего подходит павильон с откатной крышей;

– павильон выгоднее башни тем, что, когда в башне собирается много людей, выходящий из относительно узкого люка купола астрономической башни теплый воздух очень мешает наблюдениям. В самом деле, каждый человек излучает около 25 ватт тепловой энергии. Это значит, что 20–30 человек, собравшиеся у телескопа, излучают около 0,5–1 кВт энергии – это слишком много. Одно из преимуществ



Обсерватория в Окленде (Новая Зеландия), где разнесены в разные стороны башня с 500-мм рефлектором Кассегрена и теплое помещение. Журнал "Sky and Telescope", июль 1971 г.



Обсерватория Университета Северной Дакоты (США). В трейлере, расположенном в центре фотографии, находится классная комната. Справа в кирпичной башне – 400-мм рефлектор Кассегрена. Справа от трейлера – метеорологическая станция. Журнал "Sky and Telescope", октябрь 1970 г.

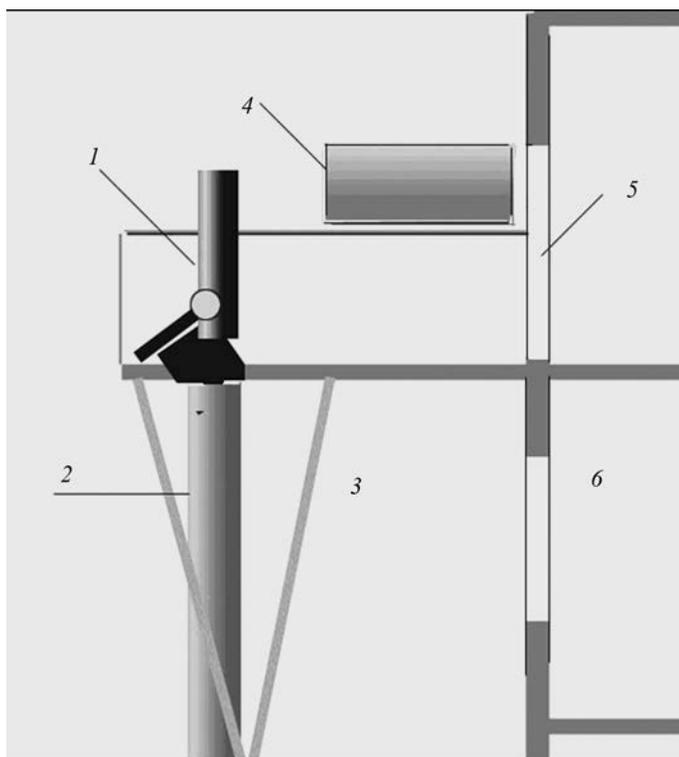


Обсерватория Ричлендского астрономического общества (штат Огайо). Журнал "Sky and Telescope", август 1963 г.

павильона с откатной крышей – он легко проветривается;

– обсерватория должна находиться рядом со школьным зданием, а еще лучше составлять одно целое с ним.

Очевидно, что удобно совместить обсерваторию со зданием школы: все вспомогательные помещения находятся в школе. Нередко обсерваторию строят на крыше здания. На первый взгляд, это наиболее разумное решение, если учесть, что в городе школа окружена более высокими соседними зданиями, которые закрывают значительную часть неба. Но теплый воздух, поднимающийся над зданием, не позволит вести тонкие наблюдения при больших увеличениях, поэтому лучше сделать павильон с откатной крышей. Перед школьниками открывается практически все небо при знакомстве с созвездия-



Принципиальная схема павильона школьной обсерватории: 1 – телескоп, 2 – фундамент телескопа, 3 – опоры павильона, 4 – откатная крыша, 5 – проем выходной утепленной двери, 6 – проем окна предыдущего этажа. Рисунки автора.

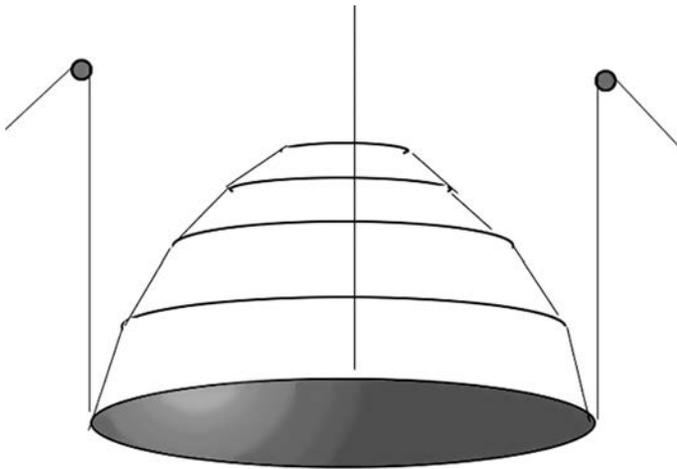


Павильон с откатной крышей.

ми и наблюдении метеоров. Лучше всего павильон соединить холодным коридором со зданием школы. В сельской школе, обычно одноэтажной, это сделать относительно несложно. В городе школы многоэтажные, холодный коридор, ведущий в павильон, лучше соединить с коридором последнего этажа здания. При строительстве нового павильона достаточно удалить подоконный простенок и вместо окна установить хорошо утепленную дверь. Разумеется, павильон нужно разместить с южной стороны здания (южное



Одна из моделей аппарата "Простейший домашний планетарий".



Убирающийся купол из ткани на “криолинах” – кольцах из алюминиевых трубок. Купол легко поднимается с помощью четырех шнуров, переброшенных через реплики на потолке. Рисунок.

Надувной мобильный купол-планетарий.



небо наиболее интересно), если есть такая возможность. Здесь можно наблюдать Солнце, Луну, планеты, центр Галакти-

ки, где максимальное количество звездных скоплений и туманностей.

Можно в одной из классных комнат шко-

лы на этаже обсерватории устроить “Evening Planetarium” (вечерний планетарий). В идеале – это простейший ап-

парат планетарий с убирающимся куполом. Перед выходом в павильон школьники бегло восстанавливают в памяти очертания созвездий, положение планет, положение экватора, точек равноденствий и т.п. Прекрасным выходом был бы старый школьный планетарий ШП-4, который в послевоенные годы выпускался в нашей стране.

Сейчас можно приобрести домашний планетарий, внутри которого расположен компакт-диск с изображениями созвездий и различных небесных тел, проецируемых на потолок. Лучше мобильный планетарий, где используются видеопроекторы, подключенные к компьютеру, с соответствующей видеопрограммой. Диаметр купола достигает 6 м, и он может быть размещен в обычной классной комнате. Купол можно изготовить самостоятельно, как это было сделано в клубе им. Д.Д. Максимова в Новосибирске в 1980-е гг. Сегодня можно приобрести надувной купол (подробности на сай-

те Общества сферического кино: <http://fulldomefilm.org/>). Простые и недорогие аппараты планетарий можно найти в Интернете, набрав в поисковике "Простейший домашний планетарий".

Если мобильный планетарий слишком дорог, обойдитесь обычным видеопроектором с плоским экраном. Изображения созвездий можно найти в Интернете. Но школьникам будет интереснее самим выполнить фотографии созвездий с помощью простейшего астрографа, представляющего собой современную цифровую фотокамеру с полем зрения $15^\circ \times 20^\circ$. Наиболее распространенный размер матрицы аппарата – 16×22 мм. Нужен объектив с фокусным расстоянием 50–60 мм. Получить фотографии неба при максимально открытой диафрагме и максимальной чувствительности можно за несколько секунд, даже без экваториальной монтировки и часового привода. Выполнив несколько экспозиций одного и того же уча-

стка неба, складываем фотографии в программе RegiStax и получаем хорошо проработанный снимок, пригодный для показа через видеопроектор. Подобная работа помогает приобрести опыт в области астрономической фотографии и цифровой компьютерной обработки снимков. Такие фотографии могут служить прекрасным экспонатом для наблюдательного практикума. Например, выбрав одну из звезд, а также пару звезд для сравнения, блеск которых известен, можно вести занятия по визуальной оценке блеска звезд способами Аргеландера, Пикеринга или Нейланда – Блажко.

В следующем номере мы рассмотрим вопрос о проектировании относительно сложных любительских астрономических комплексов.

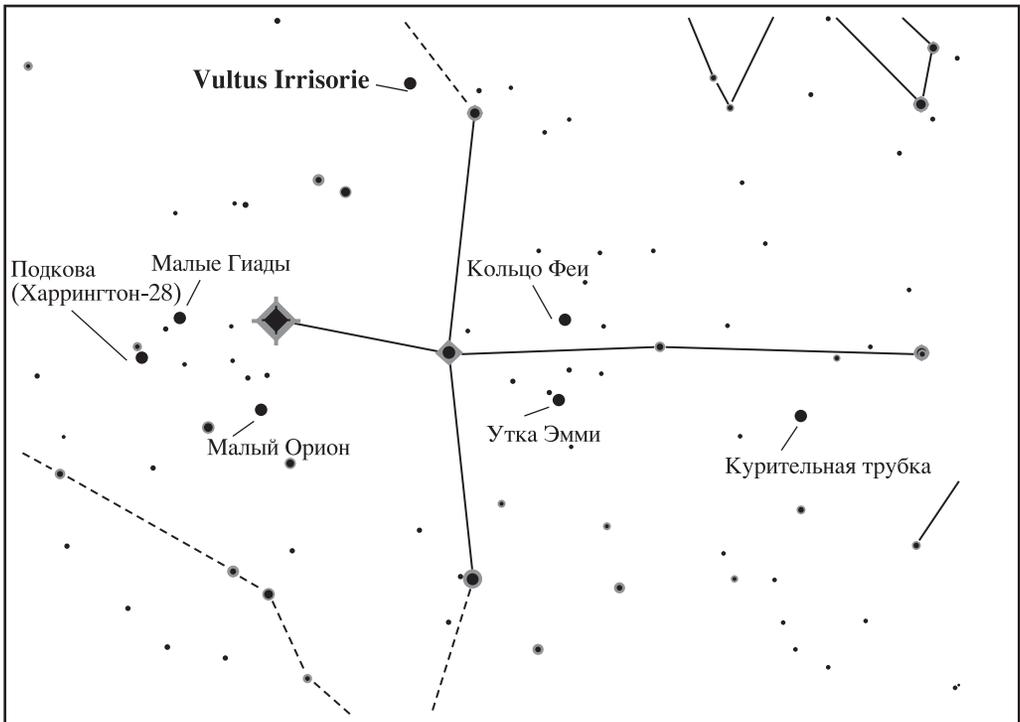
*Л.Л. СИКОРУК,
кандидат педагогических наук
заслуженный деятель искусств России
Новосибирск*

Астеризмы созвездия Лебеда

В августе около полуночи высоко над горизонтом поднимается летне-осеннее созвездие Лебеда, в этот период создаются благоприятные условия для наблюдений. Оно богато на звездные скопления и туманности. Кроме асте-

ризма Северный крест, состоящего из наиболее ярких звезд в форме летящей птицы, в созвездии есть и другие астеризмы (легко различимая группа звезд с исторически устоявшимися самостоятельными названиями). Например,

Фил Харрингтон в книге "Астеризмы" описывает шесть интересных объектов в Лебеде, доступных для рассматривания любителями астрономии в небольшие инструменты, на самом деле этих объектов там значительно больше. Предлагаю про-



Астеризмы созвездия Лебеда. Из книги Ф. Харрингтона "Астеризмы".

гуляться по этим достойным внимания астеризмам, а также изучить их окрестности.

Путешествие начнем с окрестностей яркой звезды – белого сверхгиганта Денеб (α Лебеда; $1,3^m$). Буквально в 5° выше Денеба, вблизи звезды β Лебеда ($4,3^m$), находится красивый астеризм Подкова (Харрингтон-28) в виде цепочки звезд, напоминающей подкову. Он занимает площадь $20'$ и состоит из восьми звезд $7-8^m$, что позволяет увидеть его даже в небольшой телескоп. К восточной части Подковы примыкает рассеянное звездное скопление IC 1369, похожее на горстку золотых песчинок в форме треугольника. Состоит из нескольких десятков звезд с интегральным блеском примерно 9^m . Астеризм Подкова открыл 27 апреля 1891 г. датский астроном Фредерик Пич.

Западнее Подковы расположен другой астеризм – Малые Гиады (в греческой мифологии – нимфы дождя). В каталоге NGC Джона Дрейера его номер NGC 7011. Долгое время считалось, что это рассеянное звездное скопление, но недавно астрономы выяснили, что звезды скопления физически не связаны между собой. Открыл эту группу звезд английский астроном Джон Гершель 19 сентября 1829 г. На небесной сфере NGC



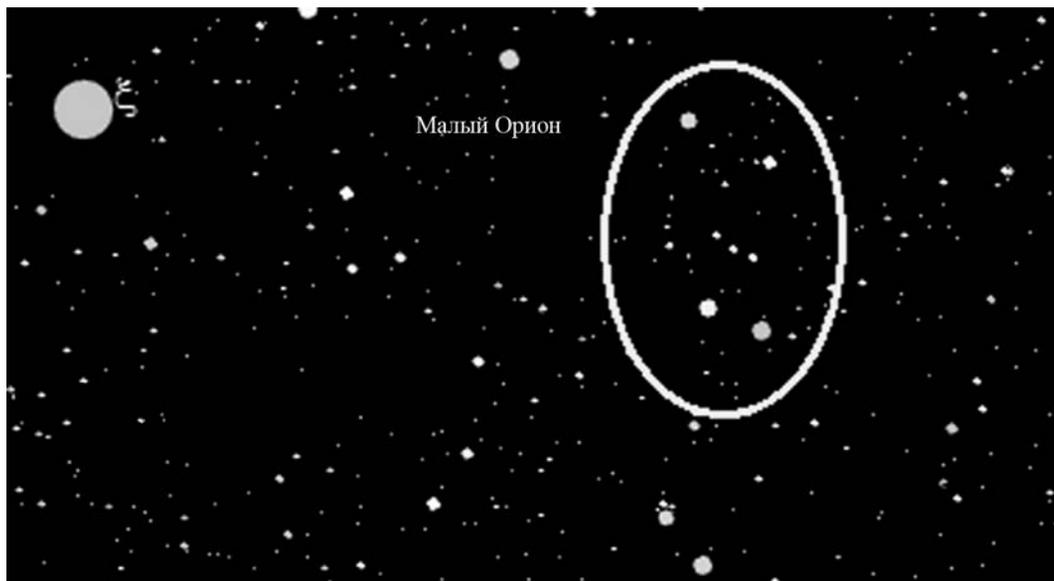
Астеризм NGC 7011. Фотография Паломарского обзора неба.

7011 охватывает всего $4'$, включая в себя около десятка звезд, чтобы рассмотреть их все потребуются телескоп с зеркалом диаметром более 20 см.

В $1,5^\circ$ от звезды ξ Лебеда между Денебом и звездой β Лебеда ($5,1^m$) в 3° от Денеба в небольшой телескоп можно рассмотреть крошечную, слегка деформированную фигуру, напоминающую созвездие Ориона – это Малый Орион (Лейтер-10). Астеризм состоит из семи звезд, уместившихся на фоне эмиссионной туманности Северная Америка (NGC

7000), или Мексиканский залив.

Перемещаясь вдоль фигуры созвездия Лебеда, от Денеба к Садру (γ Лебеда; $2,2^m$) и далее – к пятой по яркости в созвездии двойной Альбирео (β Лебеда; $2,87^m$), мы обнаружим еще два любопытных астеризма. Первый из них расположен правее (западнее) этой линии и называется Кольцо Феи, или Дуга Гленна (в честь астронома, который первым описал данный астеризм в 1980 г. и назвал его Часовой дугой). Фил Харрингтон пишет о нем: “...четыре яркие двойные звезды, образует фигу-



Малый Орион (Лейтер-10). Фрагмент карты созвездия Лебедя, созданной с помощью виртуального планетария RedShift 7.

ру, похожую на кольцо. Хорошим ориентиром для поиска астеризма является двойная звезда $h147''$. Рядом с Кольцом Феи – еще одна группа звезд, считавшаяся раньше рассеянным звездным скоплением, – NGC 6874 площадью менее $7'$ с общим интегральным блеском $7,7^m$. Между Кольцом Феи и NGC 6874 помещается звездное скопление Basel 6, которое некоторые астрономы считают тождественным NGC 6874. Это не верно, так как Basel 6 не астеризм, а настоящее рассеянное звездное скопление.

На противоположной стороне “линии” от Денеба к Садру есть астеризм Харрингтон-26, или Красная шея Эмми (Утка

Эмми), названный в честь редкой птицы семейства утиных. Астеризм состоит в основном из звезд 9^m белого и голубого цвета. Чуть выше и левее астеризма Харрингтон-26 вблизи двойной звезды 29 Лебеда заметно рассеянное звездное скопление Долидзе-3. Оно включает примерно 60 звезд $10-13^m$ и занимает на небе $6'$. Долидзе-3 – достаточно сложный объект для наблюдений, так как его звезды буквально тонут во множестве звезд Млечного Пути.

Южнее астеризма Красная шея Эмми расположено еще несколько звездных скоплений, которые примыкают к астеризму NGC 6883. Угловые размеры этого астеризма

достаточно велики – $35'$, однако интегральный блеск невысок – 8^m . NGC 6883 состоит из 30 звезд $7-9^m$, среди которых выделяются красные звезды с блеском $9,3^m$ и $8,9^m$. Открыл скопление в 1829 г. английский астроном Джон Гершель.

Скопление NGC 6871, состоящее из 50 ярких звезд с интегральным блеском $5,2^m$, удалено на расстояние $0,5^\circ$ к юго-западу от NGC 6883. Теоретически NGC 6871 можно увидеть невооруженным глазом, но оно теряется на ярком фоне Млечного Пути, так что для поиска лучше всего воспользоваться биноклем. Открыл NGC 6871 в 1825 г. российский астроном В.Я. Струве. На небесной

сфере это скопление занимает площадь 30', что равно угловому диаметру Луны в полнолуние.

Между скоплениями NGC 6871 и NGC 6883 любители астрономии смогут найти два более слабых скопления – Виур-1 и Виур-2, открытые в 1960-х гг. Виур-1 площадью 10' содержит несколько десятков звезд 9–10^м, Виур-2 площадью 7' с интегральным блеском около 8^м. Скорее всего, все четыре скопления физически связаны между собой, поэтому их можно причислить к кратным скоплениям, подобно χ и η Персея (NGC 884, NGC 869).

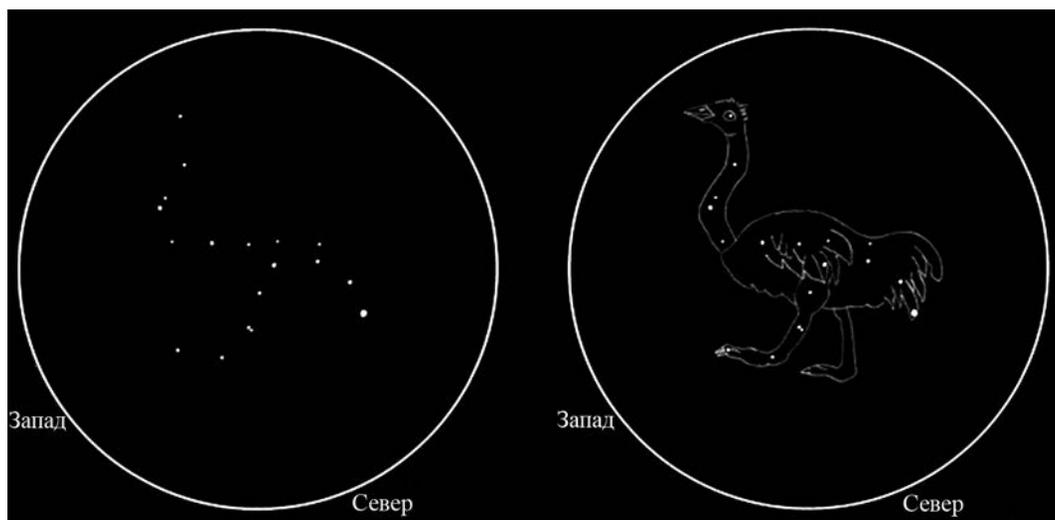
В 5,5° южнее Харрингтона-26 и на 2,5° северо-восточнее звезды 15 Лисички сияет один из самых красивых, на мой взгляд, астеризмов Лебе-

дя – темная туманность Курительная трубка площадью 22'. Эта туманность состоит из десяти звезд, самая яркая из них с блеском 5,7^м, самые слабые – 9^м. Южнее вытянулась цепочка из пяти ярких звезд – компактное рассеянное звездное скопление NGC 6834 площадью 6' с общим интегральным блеском примерно 8^м. При наблюдении в небольшие телескопы оно похоже на слабое туманное пятно, чтобы разглядеть отдельные звезды, потребуется инструмент с апертурой более 20 см и увеличение свыше 100 крат. В скоплении насчитывается около полусотни звезд.

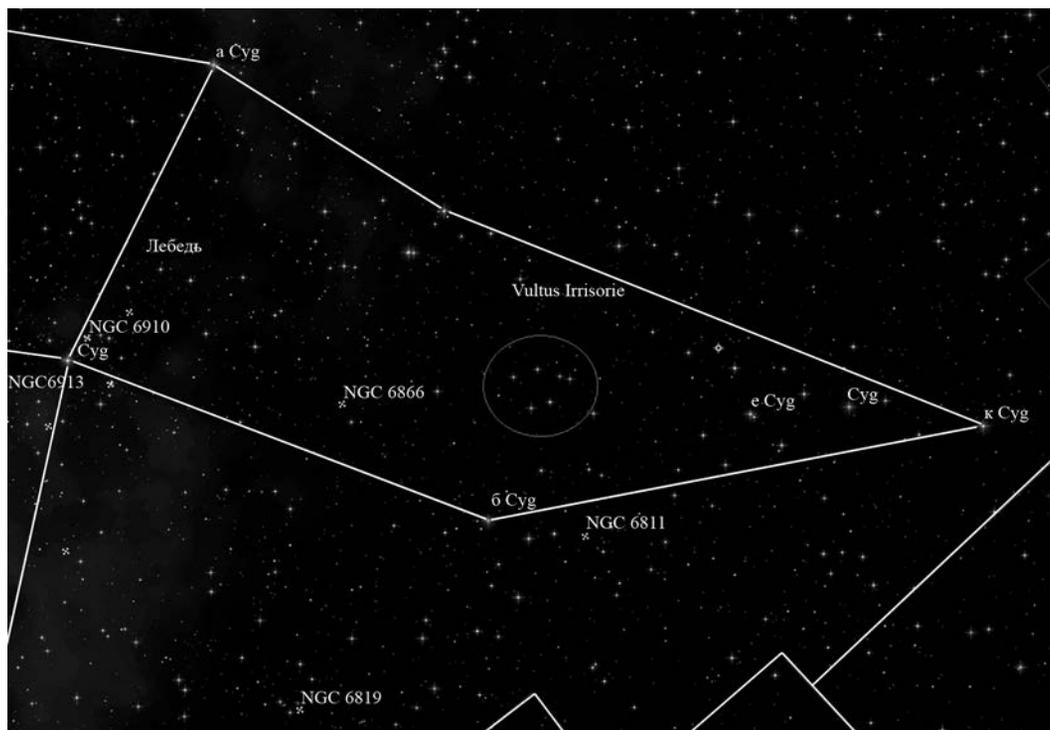
В восточной части созвездия, на продолжении прямой от γ Лебеда к ϵ Лебеда, в 1,5° пра-

вее последней заметен астеризм Сердце Мэги – цепочка звезд в форме сердца. Чтобы его увидеть, нужно обладать богатой фантазией, а лучше всего смотреть на него в тот момент, когда созвездие будет клониться к западному горизонту. Астеризм состоит из семи звезд 6–9^м. Основная звезда астеризма – переменная X Лебеда, относится к классу цефеид, меняющая свой блеск с 5,9^м до 6,9^м в течение примерно 16 сут.

В западной части созвездия в 2,5° севернее δ Лебеда находится достаточно крупный “веселый” астеризм Vultus Irrisorie. Он состоит из пяти звезд с блеском 6–8^м, которые образуют подобие улыбающегося лица (смайлик), его площадь – приблизительно



Астеризм Утка Эмми (Харрингтон-26). Зарисовка астронома-любителя Джефа де Вито.



Астеризм *Vultus Irrisorie* на карте, созданной с помощью виртуального планетария *RedShift 7*.

1,5°. На расстоянии 3° от астеризма в направлении звезды γ Лебеда расположено рассеянное звездное скопление NGC 6866, оно достаточно компактное – 7', интегральный блеск – 7,5^m. Примерно на таком же удалении, только южнее “смайлика”, можно найти яркое скопление NGC 6811 с более чем 1000 звезд с блеском 6,8^m, угловой диаметр – 13',

расстояние – 3 тыс. св. лет от нас. Его открыл в 1829 г. Джон Гершель. В 2013 г. ученые Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики (Кембридж, США) с помощью космической обсерватории “Кеплер” обнаружили в нем две планеты Kepler-66b и Kepler-67b – газовые гиганты радиусом 0,25–0,26 R_Ю, вращающиеся вокруг одной из звезд скопления (Зем-

ля и Вселенная, 2014, № 5). Северо-западнее астеризма, недалеко от звезды θ Лебеда (4,5^m), расположена планетарная туманность Мигающий глаз (NGC 6826). Этот объект достаточно легко найти даже в небольшой телескоп, так его блеск – около 9^m, угловой размер – 24" (как у Марса во время великих противостояний).

Ю.В. СОЛОМОНОВ

НЕБЕСНЫЙ КАЛЕНДАРЬ: ноябрь – декабрь 2015 г.

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ

Дата	Время, ч	Событие
Ноябрь		
3	0	Венера проходит в $0,7^\circ$ южнее Марса
3	12	Луна в последней четверти
6	14	Луна проходит в 3° южнее Юпитера
7	8	Луна проходит в 2° южнее Марса
7	12	Луна проходит в 2° южнее Венеры
7	22	Луна в апогее
11	17	Новолуние
17	15	Меркурий в верхнем соединении с Солнцем
18	21	Нептун переходит от попятного движения к прямому
19	6	Луна в первой четверти
23	19	Луна в перигее
25	22	Полнолуние
30	0	Сатурн в соединении с Солнцем
30	1	<i>Венера проходит в $4,2^\circ$ севернее звезды Спика (α Девы)</i>
Декабрь		
3	7	Луна в последней четверти
4	5	Луна проходит в 2° южнее Юпитера
5	15	Луна в апогее
6	2	Луна проходит в 1° южнее Марса
7	17	Луна проходит в 1° южнее Венеры
11	10	Новолуние
14	18	<i>Максимум метеорного потока Геминиды</i>
18	15	Луна в первой четверти
21	8	Луна в перигее

Таблица I (окончание)

Дата	Время, ч	Событие
22	4	Зимнее солнцестояние
23	23	<i>Марс проходит в 3,5° севернее звезды Спика (α Девы)</i>
25	11	Полнолуние
26	11	Уран переходит от попятного движения к прямому
29	0	Меркурий в наибольшей восточной элонгации (20°)
31	16	Луна проходит в 2° южнее Юпитера

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

Таблица II

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	
Ноябрь	1	14	23	-14	11	06:39	16:53	07:04	16:38	07:47	15:44
	11	15	02	-17	12	06:52	16:39	07:24	16:08	08:22	15:10
	21	15	43	-19	44	07:06	16:29	07:44	15:52	08:56	14:39
Декабрь	1	16	26	-21	41	07:18	16:23	08:01	15:40	09:29	14:12
	11	17	09	-22	56	07:29	16:21	08:15	15:34	09:57	13:53
	21	17	54	-23	26	07:36	16:23	08:24	15:35	10:12	13:47
	31	18	38	-23	09	07:39	16:30	08:27	15:43	10:10	13:59

Примечание. В таблице дано среднее солнечное время.

Пример. Определить время восхода Солнца 7 декабря 2015 г. в Санкт-Петербурге (широта – 59°57', долгота – 2°01М, 2-я часовая зона – московское время UT + 3^ч). Пользуясь Таблицей II, интерполируем по широте значение времени восхода Солнца на 7 декабря, получаем 8^ч46^м. Вычтем из него долготу места, прибавим 3^ч, получим 9^ч45^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												
Ноябрь	1	13	44,9	-09	12	-1,0	5,1	0,94	-	-	-	
	11	14	47,1	-15	35	-1,2	4,7	0,99	-	-	-	
	21	15	51,0	-20	46	-1,3	4,6	1,00	-	-	-	

Таблица III (окончание)

Дата	α		δ		M	d	F	Продолжительность видимости для разных широт, ч			Период видимости	
	ч	м	°	'				"	45°	55°		65°
Декабрь	1	16	57,1	-24	14	-0,8	4,7	0,98	-	-	-	
	11	18	05,1	-25	37	-0,6	5,0	0,93	-	-	-	
	21	19	11,3	-24	36	-0,6	5,7	0,81	-	-	-	
	31	20	02,4	-21	28	-0,5	7,1	0,53	0,8	-	-	Вечер
Венера												
Ноябрь	1	11	30,3	+03	47	-4,5	22,9	0,54	4,4	5,0	6,1	Утро
	11	12	10,6	+00	15	-4,4	20,7	0,58	4,4	5,0	6,2	Утро
	21	12	52,3	-03	37	-4,3	19,0	0,63	4,3	4,9	6,1	Утро
Декабрь	1	13	35,5	-07	38	-4,2	17,6	0,67	4,2	4,7	5,9	Утро
	11	14	20,3	-11	34	-4,2	16,4	0,70	3,9	4,4	5,5	Утро
	21	15	07,0	-15	12	-4,1	15,4	0,74	3,6	4,0	4,7	Утро
	31	15	55,7	-18	18	-4,1	14,5	0,77	3,3	3,5	3,7	Утро
Марс												
Ноябрь	1	11	34,9	+04	13	1,7	4,2	0,95	3,4	3,7	5,3	Утро
	11	11	57,2	+01	50	1,7	4,4	0,95	3,8	4,1	4,7	Утро
	21	12	19,3	-00	31	1,6	4,6	0,94	4,1	4,5	5,2	Утро
Декабрь	1	12	41,1	-02	50	1,5	4,8	0,93	4,5	4,9	5,6	Утро
	11	13	02,7	-05	05	1,5	5,0	0,93	4,8	5,2	5,8	Утро
	21	13	24,1	-07	14	1,4	5,2	0,92	5,1	5,5	6,0	Утро
	31	13	45,4	-09	17	1,3	5,5	0,91	5,4	5,6	6,0	Утро
Юпитер												
Ноябрь	1	11	11,9	+06	15	-1,7	33,0	1,00	4,6	5,1	6,1	Утро
	11	11	18,0	+05	39	-1,7	33,8	0,99	5,4	6,0	7,2	Утро
	21	11	23,3	+05	07	-1,8	34,6	0,99	6,1	6,9	8,3	Утро
Декабрь	1	11	27,9	+04	40	-1,8	35,6	0,99	6,9	7,7	9,3	Утро
	11	11	31,6	+04	19	-1,9	36,6	0,99	7,7	8,6	10,3	Утро
	21	11	34,3	+04	04	-1,9	37,7	0,99	8,4	9,3	11,0	Утро
	31	11	35,9	+03	57	-2,0	38,9	0,99	9,1	9,9	11,6	Утро
Сатурн												
Ноябрь	1	16	08,8	-19	17	0,5	15,3	1,00	-	-	-	
	11	16	13,5	-19	30	0,5	15,2	1,00	-	-	-	
	21	16	18,4	-19	43	0,5	15,2	1,00	-	-	-	
Декабрь	1	16	23,3	-19	55	0,4	15,2	1,00	-	-	-	
	11	16	28,3	-20	07	0,5	15,2	1,00	-	-	-	
	21	16	33,2	-20	18	0,5	15,2	1,00	0,4	-	-	Утро
	31	16	37,9	-20	27	0,5	15,3	1,00	1,3	1,0	-	Утро

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

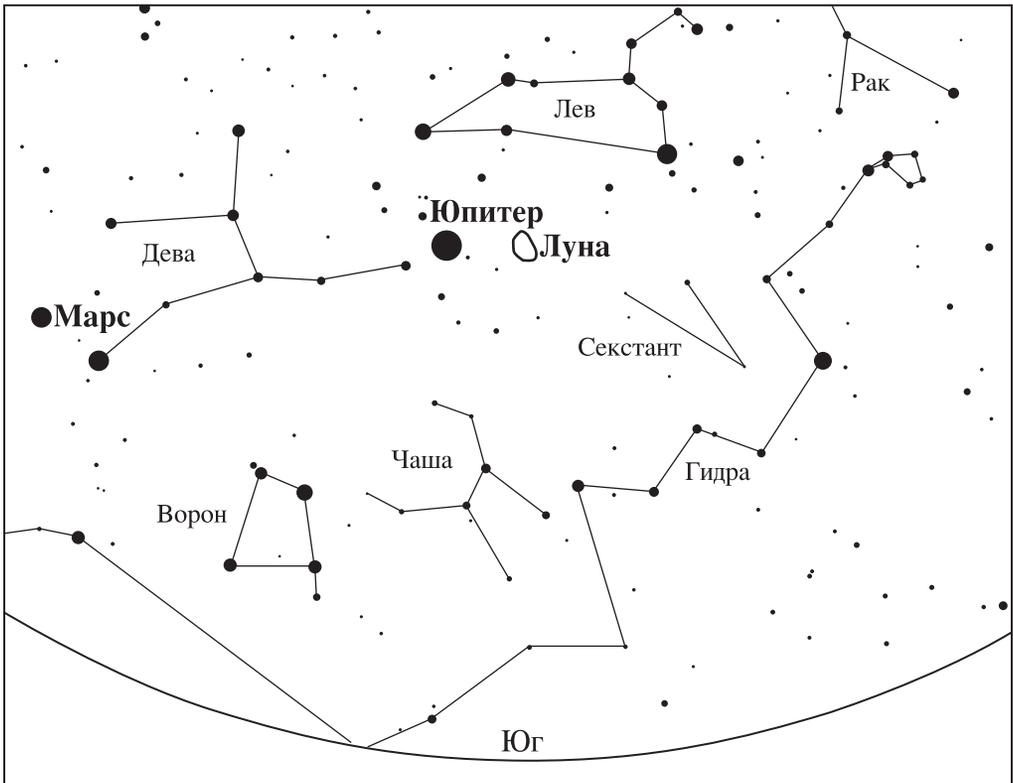
ВИДИМОСТЬ ПЛАНЕТ

Меркурий в ноябре не виден. 17 ноября он находится в верхнем соединении с Солнцем, 29 декабря – в наибольшей восточной элонгации и начинается его вечерняя видимость в южных широтах нашей страны. Меркурий приближается к Земле. Видимый угловой диаметр ближайшей к Солнцу планеты увеличивается и 31 декабря достигает 7,1". В последних числах декабря Меркурий окажется в созвездии Стрельца.

Венера в самом начале ноября перемещается по созвездию Льва, со 2 ноября – по созвездию Девы, 3 ноября оказывается в $0,7^\circ$ южнее Марса. 30 ноября проходит в $4,2^\circ$ севернее звезды Спика (α Девы). 11 декабря Венера переходит в созвездие Весов и

остается в нем до 31 декабря. Продолжительность видимости планеты в начале ноября достигает максимального значения – 4,5–6 ч (в зависимости от широты места наблюдения) и далее постепенно сокращается до 3,3–3,7 ч 31 декабря. Венера постепенно удаляется от Земли, ее видимый угловой диаметр уменьшается с 22,9" в начале ноября до 14,5" 31 декабря. Блеск планеты в этот период немного уменьшается с $-4,5^m$ до $-4,1^m$. Луна пройдет недалеко от Венеры 7 ноября и 7 декабря.

Марс продолжает приближаться к Земле и виден в утреннее время. В начале ноября он перемещается по созвездию Льва, 2 ноября переходит в



Вид южной части звездного неба в Москве 31 декабря 2015 г. в 5^h00^m по московскому времени. Отмечено положение Юпитера, Марса и Луны.

созвездие Девы и остается в нем до 31 декабря. Видимый угловой диаметр Марса увеличивается с 4,2" в начале ноября до 5,5" 31 декабря. Продолжительность его видимости увеличивается в зависимости от широты места наблюдения с 3,4–5,4 ч в начале ноября до 5,4–6,0 ч 31 декабря. Блеск Марса в этот период возрастает с 1,7^m до 1,3^m. Луна пройдет недалеко от него 7 ноября и 6 декабря.

Юпитер виден в утреннее время и перемещается по созвездию Льва. Продолжительность видимости планеты-гиганта возрастает в зависимости от широты места с 4,6–6,1 ч в начале ноября до 9,1–11,6 ч 31 декабря. Блеск Юпитера в этот период возрастает с

–1,7^m до –2,0^m. Его видимый угловой диаметр увеличивается с 33,0" в начале ноября до 38,9" 31 декабря. Луна пройдет недалеко от Юпитера 6 ноября и 4 декабря.

Сатурн в ноябре не виден. 30 ноября он находится в соединении с Солнцем. Утренняя видимость Сатурна начинается в 20-х числах декабря в южных районах страны. В последних числах декабря в средних и южных районах страны его можно наблюдать примерно в течение часа. Сатурн перемещается по созвездию Змееносца, его блеск – 0,5^m. Видимый угловой диаметр Сатурна в период видимости – приблизительно 15,3".

МЕТЕОРНЫЙ ПОТОК ГЕМИНИДЫ

14 декабря ожидается максимум метеорного потока **Геминиды**. Радиант потока расположен в северной части созвездия Близнецов, около его двух самых ярких звезд – Кастора и Поллукса. Этот поток можно наблюдать 9–19 декабря, максимум наступит 14 декабря в 18^ч. Средний радиант потока $\alpha = 112,5^\circ$, $\delta = +36,2^\circ$, скорость метеоров – 35 км/с. Геминиды связаны с астероидом 3200 Фаэтон (1983 ТВ). Для наблюдателей в Северном полушарии радиант расположен над горизонтом

практически все темное время суток. Во время максимума потока наступает новолуние, но Луна не мешает наблюдениям. Зенитное максимальное часовое число метеорного потока (ZHR) Геминиды – около 80 метеоров. Часто встречаются яркие метеоры и болиды. В 2009 г. ZHR достигло 120 метеоров, в 2010 г. – 127, в 2011 г. – 198, в 2012 г. – 109, в 2013 г. – 134, в 2014 г. – 127 метеоров. Интересно, каким оно будет в 2015 г.?

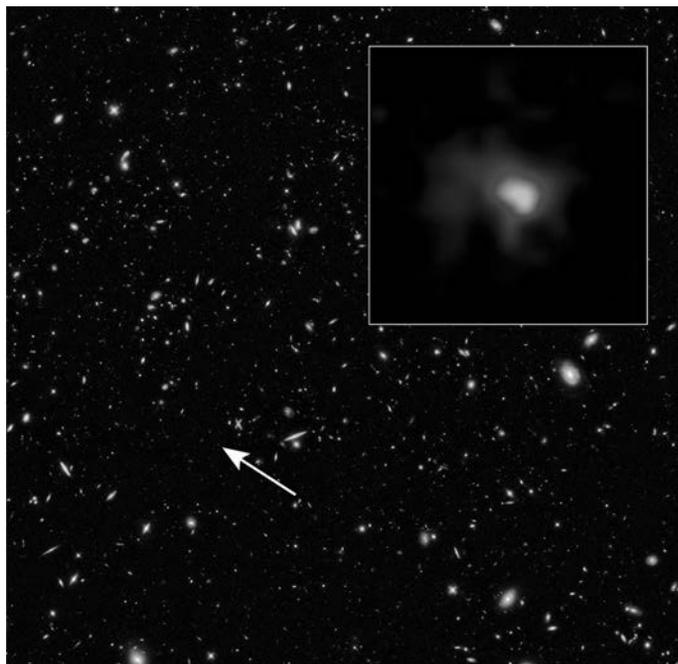
В.И. ЩИВЬЁВ

г. Железнодорожный (Московская обл.)

Рекордно далекая галактика

Международная команда астрономов во главе с учеными Йельского и Калифорнийского университетов открыла самую далекую галактику EGS-zs8-1 в созвездии Волопаса возрастом 670 млн лет, находящуюся на расстоянии 13,1 млрд св. лет от нас ($z = 7,7$). Это один из самых ярких и массивных объектов в ранней Вселенной. Ее масса составляет 15% от массы Млечного Пути. Галактика EGS-zs8-1 существовала в то время, когда водород во Вселенной начал ионизоваться. По мнению ученых, решающее значение для этого имели молодые звезды таких систем, как EGS-zs8-1. Первые звезды в ней начали формироваться через 200–300 млн лет после Большого взрыва. Звезды в ней образуются в 80 раз быстрее, чем в нашей Галактике, где скорость звездообразования – примерно одна звезда ежегодно.

Галактика EGS-zs8-1 обнаружена в ходе обзора CANDELS (Cosmic



Галактика EGS-zs8-1 (670 млн лет; указана стрелкой) в созвездии Волопаса – самая далекая во Вселенной. Снимок сделан в начале 2015 г. в ходе обзора CANDELS с помощью 10-м телескопа Обсерватории Кека и КТХ. Во врезке – инфракрасное изображение галактики, полученное космической обсерваторией “Спитцер”. Фото NASA/JPL.

Assembly Near-infrared Deep Extragalactic Legacy Survey – космическое собрание почти инфракрасного глубокого внегалактического обзора наследия телескопа Хаббла) космической обсерваторией “Спитцер” и КТХ. Расстояние до Земли удалось рассчитать с помощью инструмента MOSFIRE, уста-

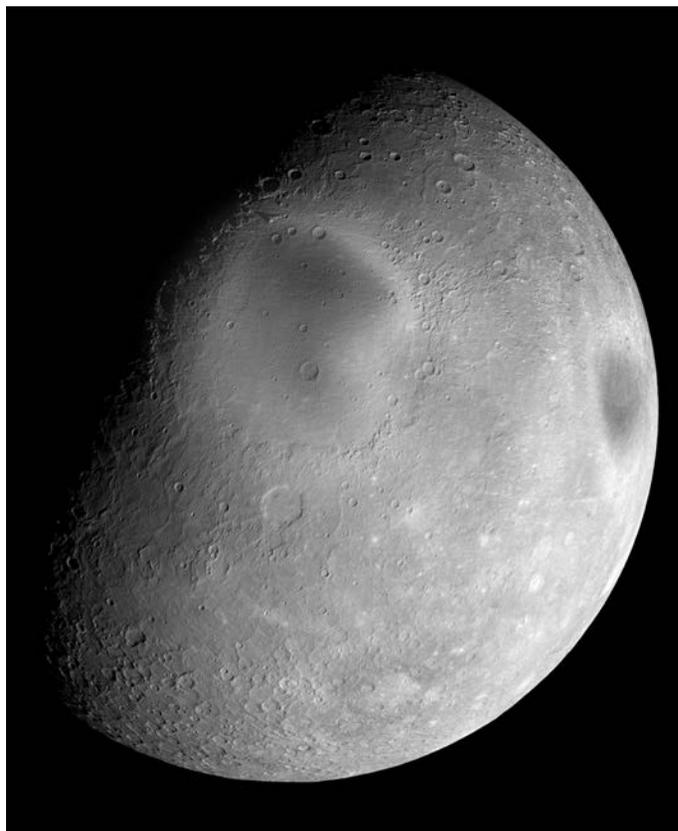
новленного на 10-м телескопе Обсерватории Кека на Гавайях и подтвержденного спектроскопически. Определение возраста галактик и расстояния до них будет одной из основных задач внегалактической астрономии в следующие десятилетия.

Пресс-релиз NASA,
5 мая 2015 г.

“Мессенджер” упал на Меркурий

31 мая 2015 г. АМС “Мессенджер” размером 3 м и массой 513 кг врезался в поверхность планеты со скоростью 3,91 км/с, в результате чего на Меркурии образовался овальный кратер диаметром около 16 м. Она упала в районе горной цепи к северо-востоку от кратера Шекспир (45,1° с.ш. и 176,4° з.д.). В течение 20 мин падения принимались данные со станции. 25 апреля сотрудники Лаборатории прикладной физики в Университете Джона Хопкинса провели последний, шестой из запланированных маневров “Мессенджера”, цель которых – замедление скорости его спуска.

Напомним, что АМС “Мессенджер” (“Messenger”, MErcury Surface, Space ENvironment, GEOchemistry, and Ranging – поверхность Меркурия, космическая среда, геохимия и расположение) была запущена 3 августа 2004 г. с космодрома на мысе Канаверал РН “Дельта-2”. На орбите Меркурия аппарат оказался 18 марта



Восточное полушарие Меркурия. В центре (ударный кратер Равнина Жары размером 1550 км) и справа показаны гравитационные аномалии. Мозаика из снимков, полученных АМС “Мессенджер”. Фото NASA/JPL.

2011 г. (Земля и Вселенная, 2011, № 4, с. 33–41). За четыре года он 4100 раз облетел вокруг Меркурия, сделал 250 тыс. фотографий и собрал информацию о планете. Помимо обнаружения льда и загадочного “темного слоя”, АМС “Мессенджер” исследовала гравитационные аномалии и элементный состав пород. Она зафиксировала многочисленные

выбросы из вулканов, покрывающих поверхность планеты, при их анализе выяснилось, что планета невероятно богата различными минералами. Другая загадка Меркурия – смещенное магнитное поле, которое ориентировано не на центр планеты, как на Земле, а на 20% к северному полюсу.

Пресс-релиз NASA,
31 мая 2015 г.

Остаток сверхновой с мощным тепловым излучением

Недавно астрономы обнаружили в нашей Галактике остаток сверхновой G352.7–0.1 на изображениях, полученных космическими рентгеновскими обсерваториями “Чандра” и “XMM-Netwon” (см. стр. 1 обложки). Он находится

в созвездии Скорпиона на расстоянии 24 тыс. св. лет от нас. Сверхновая G352.7–0.1 тип II родилась около 2200 лет назад. В момент коллапса с первоначальной звезды G352 ударной волной со скоростью до 50 тыс. км/с были сброшены внешние слои вещества массой 45 M_{\odot} . Обычно остатки сверхновых такого возраста светятся за счет выброшенного взрывом материала звезды, в котором продолжают процессы горения. Ударная волна сжимает и заставляет светиться межзвездную материю. Но G352.7–0.1 светится в рентгеновском спектре преимущественно за счет теплового излучения (30×10^6 К) самой нейтронной звезды. Это указывает на уникальный эволюцион-

ный сценарий сверхновой: выбрасываемое вещество взаимодействовало с окружающим ее плотным молекулярным облаком. Подтверждает гипотезу разная форма оболочек сверхновой в радиодиапазоне и в рентгеновских лучах, названных галактическими остатками со смешанной морфологией. Ученые пришли к заключению, что не все звезды умирают одинаково. Удивление вызвало отсутствие в центре G352.7–0.1 нейтронной звезды: либо оставшийся внутри остаток звезды слишком мал, чтобы его заметили, либо там возникла черная дыра.

Пресс-релиз NASA,
5 мая 2015 г.

Карта Цереры

По снимкам АМС “Доун” (“Dawn”), переданным в апреле – мае 2015 г., составлена полная карта карликовой планеты Церера (см. стр. 3 обложки, вверху). Разнообразие оттенков ее поверхности указывает на то, что когда-то Церера была активным небесным телом. Ее области отличаются разной морфологией и химическим составом вещества. Планета

усеяна кратерами, но число крупных ударных бассейнов оказалось меньше, чем предполагали ученые. Кроме того, в Северном полушарии обнаружено два ярких пятна. Температура одного из них не отличается от температуры окружающей местности, а другого заметно холоднее. Природа этих пятен на поверхности Цереры пока неизвестна (Земля и Вселенная, 2015, № 4).

Напомним, что станция 11 марта 2015 г. вышла на первоначальную орбиту вокруг Цереры высотой 13,5 тыс. км. На этой орбите она находилась до 23 апреля. Затем орбита была снижена до высоты 4430 км, и в течение 22 сут станция фотографировала Цереру в видимом и инфракрас-

ном диапазонах. В августе 2015 г. высоту орбиты “Доун” снизили до 1480 км, чтобы с помощью картирующего спектрометра видимого и инфракрасного диапазонов получать детальные снимки поверхности Цереры и изображение рельефа в формате 3D. На ноябрь намечено максимальное сближение АМС с планетой. На высоте приблизительно 375 км она будет три месяца изучать гравитационные особенности карликовой планеты, в это время включится детектор нейтронов и гамма-квантов для изучения элементного состава пород и обнаружения водяного льда.

Пресс-релиз NASA,
1 июня 2015 г.

Суперземля: колебания температуры

Астрономы из Великобритании и Бельгии впервые обнаружили большие колебания температуры на поверхности суперземель – экзопланет, массы которых до десяти раз больше Земли (Земля и Вселенная, 2012, № 6). Одна из них – суперземля 55 Рака е находится в двойной системе 55 Рака

(HD 75732) на расстоянии 40 св. лет от нас. Планета открыта в 2004 г. американскими астрофизиками методом доплеровской спектроскопии, в 2011 г. с помощью канадской космической обсерватории “MOST” обнаружены ее транзиты по диску звезды. Суперземля радиусом $2 \pm 0,14 R_3$ и массой $8,63 \pm 0,35 M_3$ обращается вокруг солнцеподобной звезды 55 Рака А с периодом в 17 ч 41 мин. Большая полуось ее орбиты – 0,0157 а.е., эксцентриситет – 0,06. Кроме 55 Рака е в системе присутствуют как минимум еще четыре экзопланеты. Близкое расположение суперземли к своему светилу привело к тому, что при своем вращении она всегда повернута к нему

одной стороной. Ученые с помощью космической обсерватории “Спитцер” установили, что в 2012–2013 гг. температура менялась от тысячи до 2,7 тыс. градусов (см. стр. 3 обложки, в середине). Это первая скалистая планета, на которой зафиксированы такие большие колебания температуры. Они могут быть следствием активной вулканической деятельности. Исследования также показали, что планета богата углеродом, в частности, в ее недрах могут образоваться толстые слои из графита с вкраплениями алмазов.

Пресс-релиз
Кембриджского
университета,
5 мая 2015 г.

Туманность Медуза

Астрономы Европейской Южной Обсерватории (ESO) сфотографировали планетарную туманность Медуза (Sharpless 2-274, Abell 21) в созвездии Близнецов с помощью системы из четырех телескопов VLT в Чили. Снимок туманности Медуза был получен по программе “Космические сокровища ESO” в то время, когда не проводятся научные наблюдения и телескопы об-

серватории фотографируют интересные небесные объекты. На сегодняшний день это самый детальный снимок центра туманности размером около 4 св. лет, находящейся в 1500 св. лет от нас (см. стр. 4 обложки). Области красного цвета наполнены ионизованным водородом, зеленые – ионизованным кислородом.

Туманность Медуза – это остаток сверхновой IC 443, расширяющегося пузыря из вещества внешних слоев красного гиганта, который взорвался 30 тыс. лет назад. Умирающие остатки звезд (ядра туманностей) на протяжении нескольких десятков тысяч лет остаются погруженными в облака светящегося газа. В течение следующих тысячеле-

тий газ будет постепенно рассеиваться в пространстве. Туманность исчезнет, а в качестве единственного свидетельства ее существования останется белый карлик – полностью проэволюционировавшая звезда.

Эту туманность обнаружил в 1955 г. американский астроном Джордж Эйбелл, в честь которого она получила обозначение Abell 21. Из-за схожести нитей светящегося газа со змеями туманность получила имя “Медуза” по ассоциации с древнегреческим мифологическим существом горгоной Медузой.

Пресс-релиз ESO,
20 мая 2015 г.

Дорогие читатели!

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

(II полугодие 2015 г.) во всех отделениях связи.

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

Подписной индекс – 70336.

Заведующая редакцией Г.В. Матросова
Зав. отделом космонавтики и геофизики С.А. Герасютин

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

Литературный редактор О.Н. Фролова

Оператор ПК Н.Н. Токарева

Корректор Г.В. Печникова

Обложку оформила О.Н. Никитина

Сдано в набор 13.07.2015. Подписано в печать 26.08.2015. Дата выхода в свет 13.09.2015

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

Уч.-изд.л. 12,3 Усл. печ.л. 9,1 Усл.кр.-отт. 3,4 тыс. Бум.л. 3,5

Тираж 342 Зак. 456 Цена свободная

Учредители: Российская академия наук, Президиум

Издатель: Российская академия наук. Издательство “Наука”

117997 Москва, Профсоюзная ул., 90

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

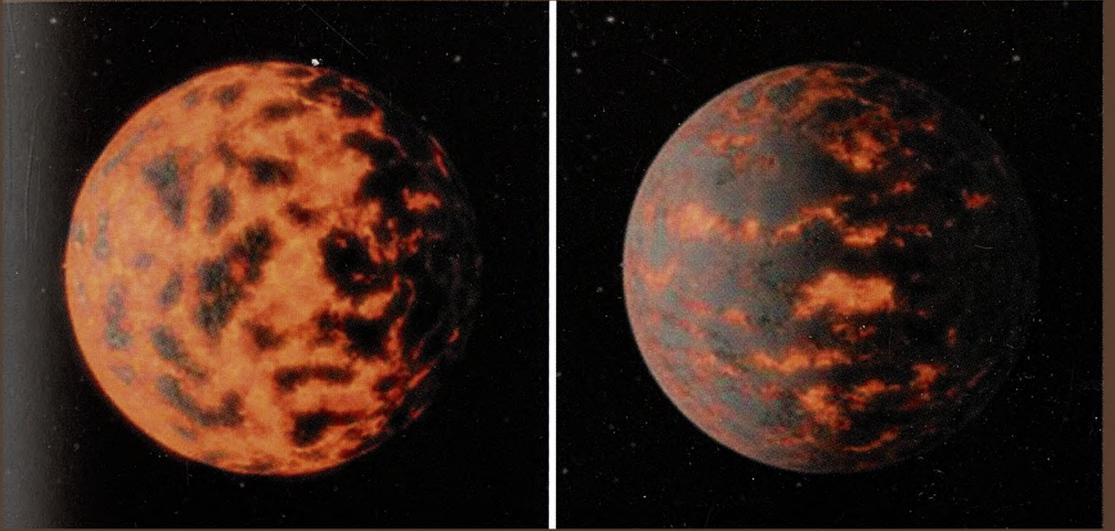
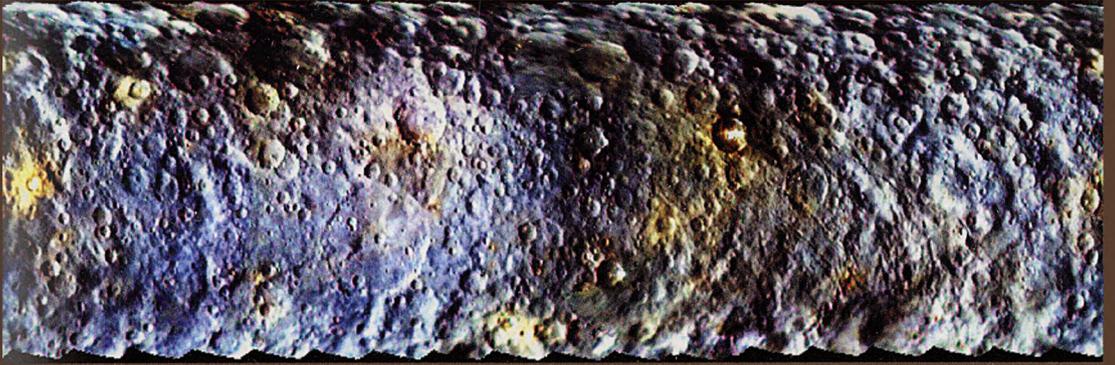
Телефоны: (499) 238-42-32, 238-29-66

E-mail: zevs@naukaran.ru

Оригинал-макет подготовлен издательством «Наука» РАН

Отпечатано в ППП «Типография «Наука»,

121099 Москва, Шубинский пер., 6





"НАУКА"
Индекс 70336