

**“Юнона”:
исследование Юпитера**

31 июля 2016 г. АМС “Юнона” (“Juno”; запущена 5 августа 2011 г.; Земля и Вселенная, 2011, № 6, с. 31) прошла самую удаленную точку от Юпитера (8,1 млн км), находясь на орбите его искусственного спутника. Завершив второй виток 27 августа 2016 г., станция совершила коррекцию траектории полета и перешла на 14-суточную рабочую орбиту для выполнения научных исследований (Земля и Вселенная,

2017, № 1, с. 98–99). Напомним, что “Юнона” должна будет сделать 37 витков вокруг планеты и завершить программу в феврале 2018 г., так как ее бортовая электроника выйдет из строя вследствие воздействия мощной радиации Юпитера.

27 марта 2017 г. станция пятый раз пролетела над верхушками облаков Юпитера на высоте 4,4 тыс. км со скоростью 57,8 км/с; во время сближения работали все 8 научных инструментов станции. 19 мая на расстоянии 3,5 тыс. км от планеты АМС прошла в шестой раз. С помощью камеры JunoCam получены первые данные о Юпитере, о его спутниках, а также

снимки облаков вокруг планеты, на которых запечатлена бурная турбулентная атмосфера. В отличие от околополярных областей Сатурна, где доминируют мощные широтные атмосферные течения в форме сглаженных гексагонов, околополярные области Юпитера выглядят достаточно хаотическими. На расстоянии около 30° от обоих полюсов скорость зональных ветров падает, а рисунок регулярных атмосферных полос, свойственных низким широтам, сменяется отдельными яркими вихрями циклонического типа на темном фоне (более темном, чем экваториальные области Юпитера). Размеры

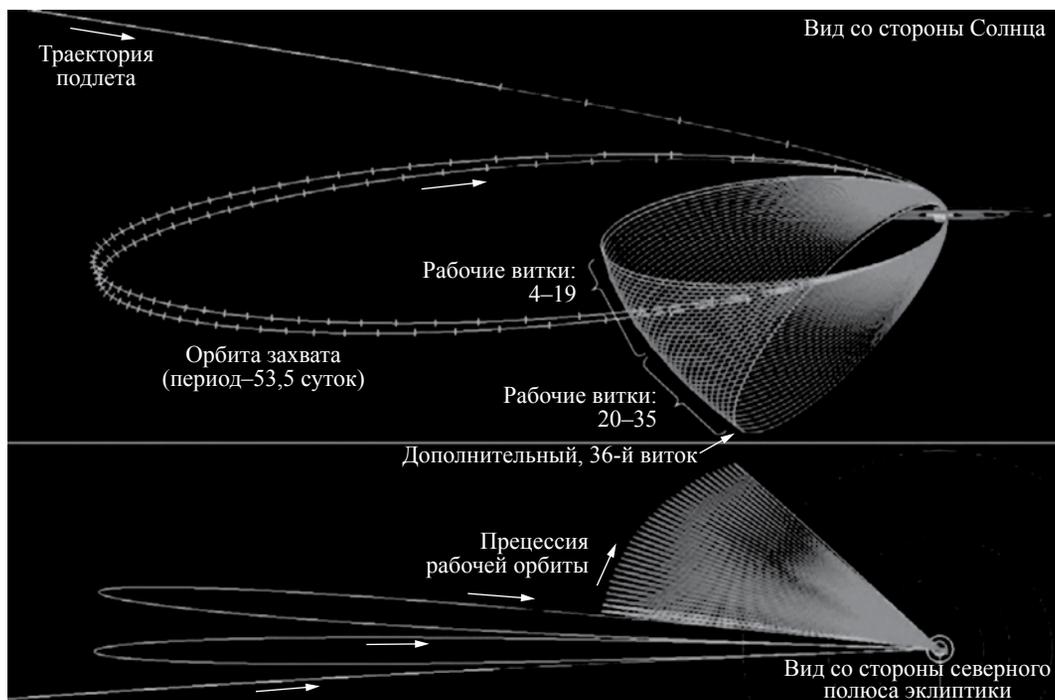
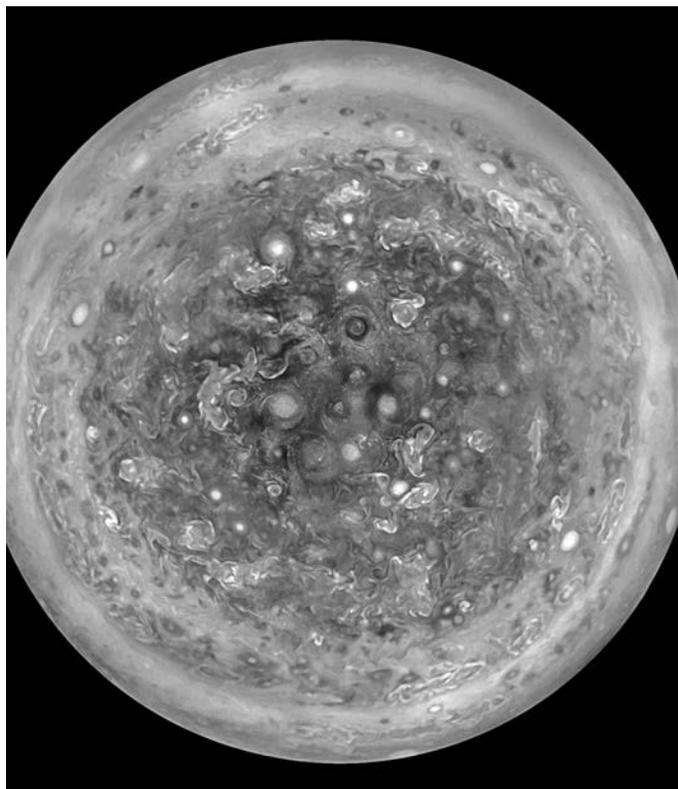


Схема запланированных витков АМС “Юнона” на орбите вокруг Юпитера. Рисунок NASA/JPL.

околополярных циклонов составляют 50–1400 км на юге и 200–1000 км на севере, а гигантских торнадо – около 7 тыс. км. В отличие от Сатурна, на Юпитере нет центрального полярного вихря с морфологией “глаз урагана”. Пока не ясно, почему метеорология приполярных областей газовых гигантов Солнечной системы настолько различается. Вариации температуры (200–340 К; в зависимости от широты) наблюдаются вплоть до глубин в 300 бар, однако они заметны только в полосе $\pm 20^\circ$ от экватора. Сравнение данных, полученных во время пролетов 27 августа и 11 декабря 2016 г., показывает, что погода на Юпитере меняется лишь в верхнем слое атмосферы, где давление менее 9 бар; ниже изменения температуры и давления становятся еле заметными (менее 1%). Колебания температуры на 50 К в приэкваториальной области Юпитера вызвано изменением его непрозрачности.

Главным источником непрозрачности в микроволновом диапазоне в атмосфере Юпитера является аммиак; влияние воды и других примесей гораздо меньше. На экваторе Юпитера находится “пояс” из аммиака, он уходит на глубину – на 300 км. Наличие такого “пояса” свидетельствует о существовании погодной системы, основанной на перераспределении аммиака между различными зонами. Кроме этого, внутренние слои Юпитера постоянно смешиваются друг с другом – по сути, ядро планеты



Циклоны на Юпитере размером с Землю (около 7 тыс. км). Странные белые овалы размером 600–1000 км – облака из аммиака и гидразина. Снимок получен 19 мая 2017 г. АМС “Юнона” с расстояния в 52 тыс. км, разрешение – 20 км. Фото NASA/JPL.

размыто. Циркуляция атмосферы, приводящая к наблюдаемой концентрации аммиака, напоминает ячейку Хэдди. В районе экватора газ поднимается с глубины, где давление выше 100 бар и объемная доля аммиака составляет 350 ± 20 ppm. Ниже облаков “влажность” несколько повышается благодаря испарению аммиачных льдинок, но там, где давление от 1,5–2 до 60 бар, атмосфера вне экваториального восходящего потока остается сухой. На полюсах планеты

часто наблюдаются явления, сходные с северным сиянием на Земле.

Другим открытием стало то, что магнитное поле планеты оказалось мощнее, чем ученые думали раньше. Изначально предполагалось, что оно в 10–20 раз более мощное, чем магнитное поле Земли, но результаты, полученные АМС “Юнона” показали, что действительные показатели еще в два раза выше. При этом магнитное поле планеты неоднородное, со спадами и подъемами, и его

источник находится ближе к поверхности планеты – не в ядре, как у Земли. Во время пролетов магнитометр “Юноны” замерил вектор магнитного поля: как оказалось, магнитное поле Юпитера имеет большую напряженность и более сложную структуру, чем считалось ранее. Максимальная напряженность достигала 7,766 Гс, что более чем на порядок превышает максимальную напряженность магнитного поля на поверхности Земли (0,66 Гс). Кроме того, поле планеты имеет сложную структуру, оно включает, помимо дипольной составляющей, и многочисленные сильные гармоники более высоких порядков. Степень “сложности” поля Юпитера свидетельствует о том, что в него вносят весомый “вклад” конвективные потоки молекулярного

водорода, приводя его в металлическое состояние.

Структура гравитационного поля газового гиганта зависит от распределения масс. Точное измерение скорости космического аппарата помогает оценить распределение масс внутри Юпитера и выбрать наиболее правдоподобные модели его внутреннего строения. Внешние слои планеты состоят, в основном, из смеси молекулярного водорода и гелия, находящихся в закритическом состоянии. На глубине около 100 ГПа (~1 Мбар) растворимость гелия в водороде уменьшается; гелий принимает форму отдельных капель и дождем выпадает вниз сквозь слой жидкого водорода, обедненного гелием. При дальнейшем погружении растет температура и увеличивается взаимная растворимость гелия и водорода,

так что на уровне давления ~300 ГПа они снова начинают свободно смешиваться друг с другом, и слой “гелиевого дождя” заканчивается. Ниже находится протяженный слой металлического водорода, простирающийся вплоть до ядра, состоящего из тяжелых элементов. Создано несколько теоретических моделей ядра: по одной из них оно имеет радиус 0,15 $R_{Ю}$, по другой – частично растворяется в металлическом водороде с радиусом ~0,5 $R_{Ю}$, а плотность ядра постепенно падает.

Следующее сближение АМС “Юнона” с Юпитером произойдет 11 июля 2017 г. – она пролетит над его Большим Красным Пятном.

*Пресс-релизы NASA/JPL,
2 февраля, 6 апреля,
25 мая и 1 июня 2017 г.*

Информация

“Опортьюнити” изучает Долину Настойчивости

Марсоход “Опортьюнити” (“Opportunity”); запущен 7 июля 2003 г., работает на Марсе с 25 января 2004 г.; Земля и Вселенная, 2004, № 1, с. 31, 36–37; 2015, № 1, с. 41–42) в начале мая 2017 г. достиг главной цели своей расширенной миссии продолжительностью два года – древней Долины

Настойчивости, вырезанной на поверхности Марса потоками жидкости; она располагается на внутреннем склоне гребня обширного марсианского кратера. Долина протянулась вниз от гребня внутрь кратера под наклоном 15–17° на расстояние порядка 200 м.

На сегодня “Опортьюнити” продолжает функционировать в течение 150 месяцев – уже более чем в 50 раз превысив запланированный срок в 90 сол (марсианские сутки), проехав к концу октября 2016 г. по поверхности планеты 43,45 км.

Процесс, в результате которого образовалась Долина Настойчивости на

гребне кратера Индевор миллиарды лет назад, до сих пор остается неизвестным. Среди возможных механизмов ученые называют влияние потоков воды или обломков горных пород и грязи, слегка смоченных водой, или даже более “сухой” процесс – ветровую эрозию. Марсоход выполнил несколько серий снимков долины с двух точек, находящихся на большом удалении друг от друга. Такой метод поможет получить ценную информацию для подробного трехмерного анализа этой местности.

*Пресс-релиз NASA,
16 мая 2017 г.*

“Кьюриосити”: исследования у подножия горы Шарпа

В феврале 2017 г. марсоход “Кьюриосити” (“Curiosity”); запущен 26 ноября 2011 г., работает на Марсе с 6 августа 2012 г.; Земля и Вселенная, 2012, № 3, с. 110–112; 2013, № 5, с. 37; 2015, № 1, с. 50–51; 2017, № 2, с. 16) переехал небольшую песчаную дюну в кратере Гейла в формации Мюррей в районе горы Шарпа (Mount Sharp), которую ученые назвали “Dingo Gap”. Переход через эту дюну позволил марсоходу переехать на местность с относительно гладкой и мягкой поверхностью.

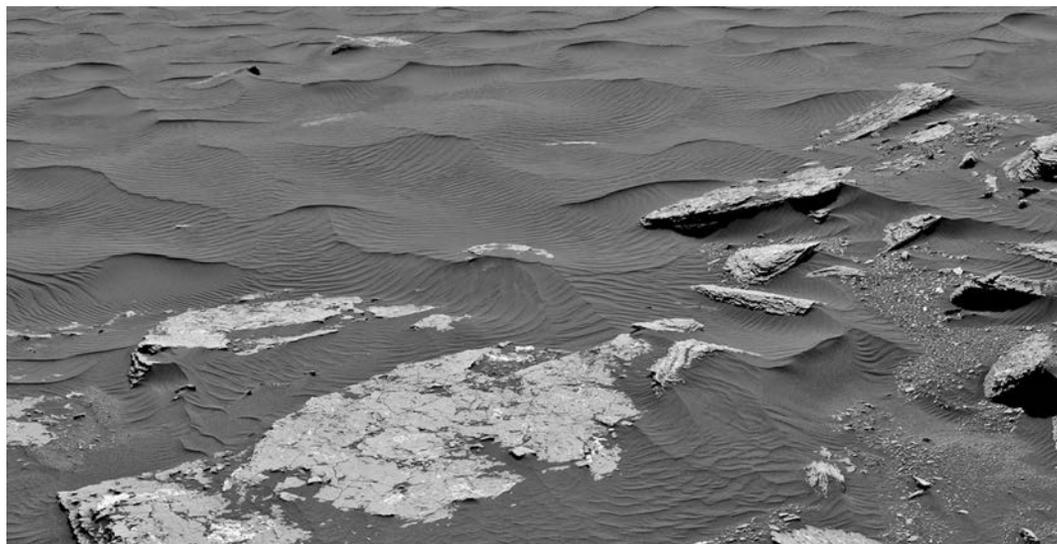
Передвижение по такой поверхности, по мнению ученых, позволит снизить риск дальнейшего износа колес. За несколько дней он проехал часть пути “задним ходом” – для того, чтобы протестировать такой способ передвижения, позволяющий сберечь колеса. “Кьюриосити” удалось сделать несколько удивительных новых снимков – пейзажей с рядами камней и возвышающуюся гору Шарп высотой 5,5 км, плохо различимую. Ученые надеются, что подножия горы – пункта назначения марсохода – ровер сможет достичь к середине 2017 г.

После обнаружения марсоходом необычных песчаных отложений поблизости от горы Шарпа ученые предположили, что на Марсе жидкая вода существовала намного дольше, чем считалось ранее. Известно, что более 3 млрд лет назад

кратер Гейл когда-то был озером с водой, пригодной даже для питья. Изучение донных отложений, проведенное с помощью научных инструментов марсохода, показало, что условия в разных частях озера существенно различались – на мелководье откладывались одни минералы, на глубине – другие; типичные размеры осадочных слоев также различались. Разные части озера были благоприятны для жизни нескольких видов микроорганизмов. (Аналогичная стратиграфия наблюдается и в земных озерах.) Можно предположить, что микроорганизмы в этом районе были и после полного испарения озера, на это указывают значительные запасы влаги в почве. Формирование этого плато происходило в “безводную” эпоху Марса. Мелкий песок в расщелинах скал, по мнению



Часть панорамы в районе подножия горы Шарпа на Марсе. Видны тянущиеся на многие десятков метров дюны, сформированные из отложений древнего озера, и обнаженные скалы. Снимок сделан 4 мая 2017 г. с помощью камеры Mastcam марсохода “Кьюриосити”. Фото NASA/JPL..



Активные линейные дюны, сформированные осадочными породами в районе горы Шарпа. Снимок сделан в апреле 2017 г. с помощью камеры Mastcam марсохода “Кьюриосити”. Фото NASA/JPL.

ученых, “принесла” вода, временами заполнявшая почву и трещины в кратере Гейл. Подобные песчаные дюны были обнаружены практически на всем плато Науклуфт и в наиболее возвышенных участках горы Шарпа. Это говорит о наличии жидкой воды на Марсе в течение миллиарда лет (в том или ином виде, даже после пересыхания всех океанов и других водоемов).

Поднимаясь вверх по горе от полосы волнистых песчаных дюн, марсоход с помощью инструмента SAM анализировал небольшую пробу темного песка с целью определения химического и минералогического состава дюн. Среди вопросов, на которые должны ответить ученые, будет и такой: каким

образом эрозия формирует дюны, имеющие различные формы. Оказалось, что фрагменты горных пород, собранные в результате четырех проб, сформировались в присутствии жидкой воды. Воды древнего озера отличались разными показателем кислотности и окислительно-восстановительным потенциалом. Около горы Шарпа располагаются магматические породы, богатые магнием и железом и напоминающие базальты Гавайских островов. Выше лежат минералы, более богатые кремнеземом; найден кварц и тридимит. На Земле тридимит находят в осадочных породах, подвергшихся частичному расплавлению, и в континентальной коре. Это очень странно, потому

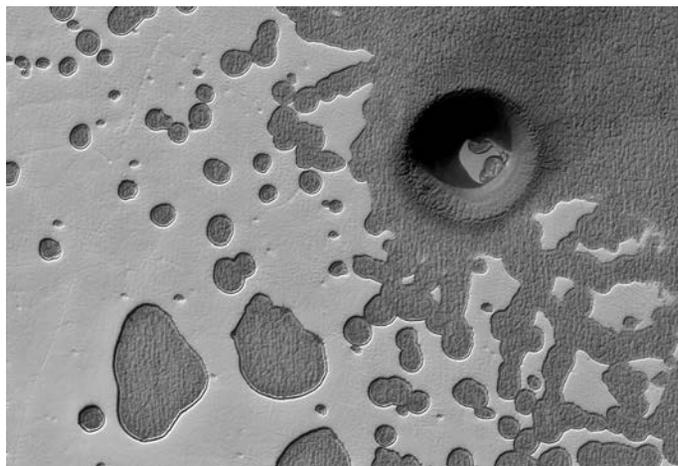
что на Марсе никогда не было тектоники плит. Обнаружен минерал ярозит – соль, откладывающаяся в кислых растворах! Наличие в одном и том же месте глин и ярозита говорит о том, что кислотность воды там значительно менялась. Степень окисления железа в найденных минералах говорит о том, насколько в древности эта среда была окислительной.

В середине 2017 г. марсоход “Кьюриосити” продолжит восхождение по склону горы Шарпа, изучая все более молодые породы, продолжая “читать” – от прошлого к будущему – летопись климата Красной планеты.

*Пресс-релизы NASA/JPL,
7 и 31 мая, 6 и 13 июня
2017 г.*

Гигантский провал на Марсе

В Южном полушарии Марса американский ИСМ “Марсианский орбитальный разведчик” (“MRO”; запущен 12 августа 2005 г., работает орбите Марса с 30 марта 2006 г.; Земля и Вселенная, 2005, № 6, с. 56; 2015, № 1, с. 45–46) с помощью камеры высокого разрешения HiRISE обнаружил огромное отверстие в грунте размером в несколько километров. Точно такую же яму “MRO” сфотографировал 10 лет назад. Специалисты внимательно изучили снимок, сделанный спутником 25 марта 2017 г.: на марсианской поверхности лежит водяной лед или замерзшая углекислота; они образовали проталины и сформировали ландшафт, который называют за внешнее сходство “швейцарским сыром”. Некоторые ученые предположили, что вмятина образовалась вследствие падения на поверхность Марса другого небесного



Участок марсианской поверхности в виде “швейцарского сыра” со следами водяного льда или замерзшей углекислоты. Вверху зияет огромное отверстие диаметром несколько километров. Снимок получен в марте 2017 г. с помощью камеры высокого разрешения HiRISE АМС “Марсианский орбитальный разведчик”. Фото NASA/JPL.

тела, например, метеорита. Хотя специалисты NASA сомневаются, что провал образовался после падения метеорита, так как впадина не похожа на ударный кратер. Выдвигалась также гипотеза, что аномалия появилась в результате каких-то геологических явлений. Возможно, в глубинах Марса происходят процессы, подобные земным; не исключено, что провал в грунте – примерно такой же природы, как и те, которые в последнее время

найлены на Ямале. Марсианские и земные провалы похожи, но есть и существенное их отличие: у земных – дно бесформенное, у марсианских – ровное, плоское и с проплешинами. Впечатление такое, что там оказались те проплешины, которые раньше были на поверхности: то есть, эти “дырки от швейцарского сыра” вдавлены. Как? – Пока не ясно.

*Пресс-релиз NASA,
3 июня 2017 г.*

Признаки мерзлоты на Луне

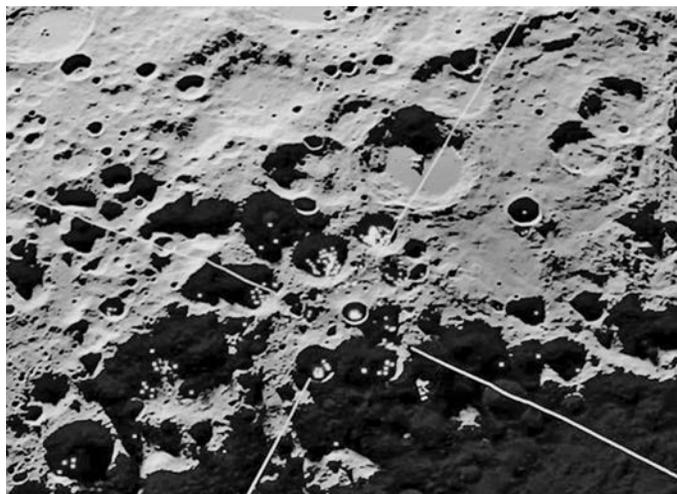
Ученые, используя данные, собранные АМС “Лунный орбитальный разведчик” (“Lunar Reconnaissance

Orbiter”, “LRO”; запущен 19 июня 2009 г., работает на орбите Луны с 23 июня 2009 г.; Земля и Вселенная, 2009, № 6; 2015, № 1, с. 48–49), идентифицировали яркие области поверхности внутри кратеров близ южного полюса Луны; они достаточно холодные

для существования в них мерзлоты. Эти новые доказательства были получены в результате анализа, в котором температуры поверхности сравнивались с информацией о количестве света, отражаемого лунной поверхностью. Холодные участки Луны близ

ее Южного полюса – слишком яркие, чем им следовало бы быть; это может указывать на присутствие там льда. Лед на Луне напоминает собой мерзлоту, промерзший грунт. Считается, что водяной лед на Луне может существовать в “холодных ловушках” – постоянно затененных зонах – таких, как дно глубокого кратера или нижняя часть неосвещаемой Солнцем стенки кратера. Сравнение температуры самых холодных областей в этом районе указали на присутствие льда (или других материалов) с высокой отражательной способностью.

*Пресс-релиз NASA,
1 июня 2017 г.*



Район Южного полюса Луны. В центре изображения – точки; они указывают на наличие мерзлоты или залегание водного льда. Снимок получен в мае 2017 г. АМС “Лунный орбитальный разведчик”. Фото NASA/JPL.

Информация

Три пригодные для жизни планеты

22 февраля 2017 г. NASA объявило об обнаружении семи экзопланет у звезды TRAPPIST-1 (красный карлик массой 8% M_{\odot} ; в 40 св. годах от нас в созвездии Водолея). На трех из них вода может существовать в жидком виде, а их масса предположительно сопоставима с земной. Астрофизики нашли “намек” на присутствие кислорода и углекислоты в их атмосферах. Открытие сделал астроном из Института технологий и астрофизических исследований Университета Льежа (Бельгия) Мишель Жильон. В мае

2016 г. вблизи TRAPPIST-1 с помощью 6-м телескопа TRAPPIST (TRANSiting Planets and Planetesimals Small Telescope – находение планет и планетозималей малым телескопом транзитным методом) Европейской Южной Обсерватории в Чили ученые обнаружили три кандидата в экзопланеты, подобные Земле.

М. Жильон и его коллеги изучали свойства этих планет, наблюдая за звездной системой с помощью космической обсерватории “Спитцер”. Как отмечают ученые, они предполагали, что смогут легко получить информацию о размерах, массе и составе атмосферы планет благодаря небольшому расстоянию до TRAPPIST-1, спокойному характеру звезды и ее малым размерам,

облегчающим наблюдения за тенью планет на ее поверхности. Оказалось, что планет на самом деле не три, а семь; причем шесть из них находятся в пределах зоны обитания. Благодаря высокому разрешению телескопов и длительным наблюдениям планетологам впервые удалось очень точно измерить диаметр и массу планет, получить некоторые данные о составе их атмосфер.

Все планеты по размеру схожи с Землей – их радиус составляет от 0,7 до 1,08 радиуса нашей планеты, а масса – от 0,41 до 1,38. В отличие от нашей планеты, они вращаются по очень тесной орбите вокруг TRAPPIST-1 – год на них длится от полутора дней до примерно двух недель. Даже последняя планета системы, TRAPPIST-1h,

располагается примерно в четыре раза ближе к звезде, чем Меркурий к Солнцу. При этом почти на всех планетах должен быть климат, похожий на земной, со средними температурами поверхности около нуля или $-20-30^{\circ}\text{C}$. Только у двух близких к звезде планет колебания температуры составляют $+70-100^{\circ}\text{C}$, что, вероятно, делает их более похожими на Венеру, чем на Землю.

Если говорить о вероятности развития жизни, то на эту роль пока больше всего претендуют три центральные планеты – d, e и f. Наибольшие шансы на зарождение жизни есть у планеты f, климат которой довольно мягкий и прохладный для того, чтобы на ней могла существовать вода и органика. Точный ответ на этот вопрос станет известен уже в ближайшие годы,

а достоверные сведения о ее обитаемости могут быть получены в текущем десятилетии.

Открытие семи планет у TRAPPIST-1 пока не позволяет говорить о том, как часто в нашей Галактике могут встречаться планетные системы, аналогичные нашей (или похожие на нее).

*Пресс-релиз NASA,
22 февраля 2017 г.*

Информация

KTX: галактики NGC 4302 и NGC 4298

Космический телескоп Хаббла (KTX) 20 апреля 2017 г. получил ошеломляющие снимки двух сталкивающихся спиральных галактик NGC 4302 и NGC 4298, расположенных на расстоянии 55 млн св. лет в созвездии Волос Вероники (см. стр. 4 обложки). Изображение сделано в честь 27-летия работы KTX на околоземной орбите (запущена 24 апреля 1990 г.; Земля и Вселенная, 1990, № 4, с. 46; 2005, № 3, с. 26–29; 2005, № 6; 2010, № 6). Обе эти галактики являются частью гравитационно связанного скопления Девы,

состоящего из почти из 2 тыс. отдельных галактик. NGC 4302 немного меньше нашего Млечного Пути; галактика NGC 4298 составляет половину размера своего компаньона. Они отделены друг от друга расстоянием в 7 тыс. св. лет. Астрономы очень удивлены (учитывая их очень близкое расположение) очевидным отсутствием любого гравитационного взаимодействия между ними – присутствует только незаметный слабый “мост” нейтрального водорода. Длинные приливные хвосты и деформации в их структуре, типичные для галактик, лежащих так близко друг к другу, полностью отсутствуют.

Галактика NGC 4298 обращена к нам своей плоскостью, из-за чего мы можем в подробностях разглядеть ее спиральные рукава и участки звездообразования. Галактика NGC 4302

обращена к нам ребром, она окружена пылью; вспышки в нижней ее части указывают на область чрезвычайно энергичного рождения молодых звезд. Обнаруженные очень слабые хвосты газа, выходящие от этих двух галактик в сторону от центра скопления Девы, указывают на то, что они совсем недавно “прибыли” в группу и в настоящее время движутся к центру скопления, к сверхгигантской эллиптической галактике M87 (NGC 4486) – одной из самых крупных известных галактик. При движении они сталкиваются с горячим газом межгалактической среды, он действует как сильный ветер, срывая газ и пыль галактик и создавая такие хвосты.

*Пресс-релиз
Института KTX,
20 апреля 2017 г.*