

На пыльных просторах планет и комет...

Кандидат
физико-математических наук
С.М.Комаров

За полвека, прошедшие после выхода человечества в космос, люди посетили много миров. С помощью космических аппаратов мы увидели раскаленные Солнцем долины Меркурия, усеянные ударными кратерами (фото 1); кратеры на покрытой пылью поверхности Луны; очень похожие на них, но засыпанные красным песком кратеры на Марсе (фото 2). На Земле из космоса также видны кратеры, возникшие от удара метеоритов (фото 3). Европа продемонстрировала, что получается, когда метеорит пробивает ледяной панцирь, покрывающий океан жидкой воды: на поверхности вырастают ледяные пики (фото 4).

Разглядывая Деймос (фото 5), мы удивляемся, как далеко улетает песок с поверхности Марса. А судя по пейзажам другого его спутника, Фобоса, удары по планете могут быть столь сильными, что разгоняют выбитые камни до первой космической: возможно, именно такие камни избороздили поверхность спутника (фото 6). И даже на астероидах люди находили кратеры (фото 7).

Казалось бы, нам уже знакомо все многообразие возможных структур на каменных планетах. Однако экспедиция «Dawn» («Рассвет»), начатая НАСА в 2007 году, опровергла это мнение. Ее целью были две малые планеты, обращающиеся между орбитами Марса и Юпитера, — Веста и Церера. Первую космический аппарат обследовал с июля 2011 по сентябрь 2012 года, а вторую достиг в 2015 году.

Первые же снимки кратеров Весты, которые НАСА открыла для всеобщего разглядывания, породили бурную дискуссию. Некоторые из них совсем не походили на классические земные, лунные или меркурианские кратеры (коль-

1
Поверхность Меркурия по данным «Мессенджера». Здесь 30 апреля 2015 года был разбит этот космический аппарат по окончании исследований



NASA/JPL-Caltech/Univ. of Arizona

2

Кратер на Ацидалийской равнине, где происходит действие романа Энди Уира «Марсианин» и одноименного фильма о выживании забытого на планете члена экспедиции. Место посадки аппарата «Патфайндер» с марсоходом «Соджернер» (1997) находится неподалеку

цеобразные горы, окружающие более или менее плоское дно). Это были конусообразные углубления со склонами, сильно изрезанными оврагами разной глубины (фото 8—10). Любители искать следы инопланетян сразу же объявили, что это места разработки полезных ископаемых, а борозды — следы гигантских бульдозеров. Исследователи из НАСА на провокации не поддались, внимательно присмотрелись к склонам и обнаружили на них явные следы эрозии, подобные тем, что имеются в земных кратерах. Такие следы могла оставить жидкая вода.

Не нужно думать, будто по Весте текли реки. Это могло быть движение пыли, смоченной небольшим количеством влаги. Но все равно, откуда взяться воде на малом космическом теле, где холод давно должен был выморозить легколетучие молекулы H_2O ? Однако данные химического анализа свидетельствуют в пользу водяной гипотезы: в районе экватора Весты замечены скопления гидридов. При ударе вода могла высвободиться из гидратированных минералов, которые принесли



Jesse Allen, NASA/GSFC/METI/ERSDAC/JAROS, U.S./Japan ASTER Science Team

3

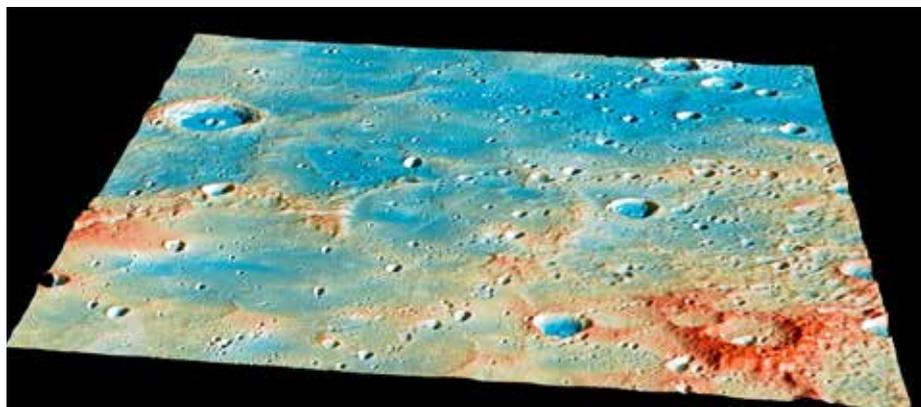
Кратер Тенумер в мавританской части Сахары мало отличается от своих собратьев на Марсе или Меркурии. Это след метеорита, который ударился о Землю совсем недавно — 30—10 тысяч лет назад, то есть в последний ледниковый период

на планету кометы. Дополнительным свидетельством считают ямы на дне кратеров — они могли образоваться при испарении воды. Как бы то ни было, никто из планетологов не ожидал встретить картины водяной эрозии на планете, начисто лишенной атмосферы.

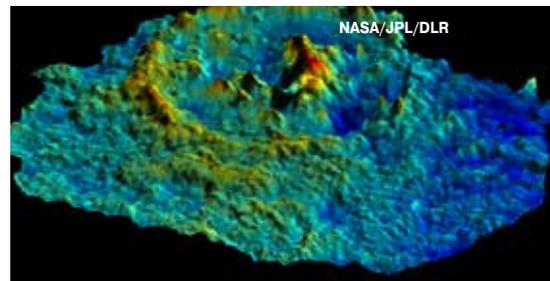
Кстати, структуры, формируемые за счет испарения газов, заметили исследователи ЕКА, следящие за кометой

4

Кратер Пуїлл на юпитерианском спутнике Европе необычен: его дно находится на том же уровне, что и окрестности, а центральный пик выше, чем стенки. Такое могло получиться, если сразу после его образования началось быстрое движение теплого льда снизу вверх



NASA, Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington



NASA/JPL/DLR



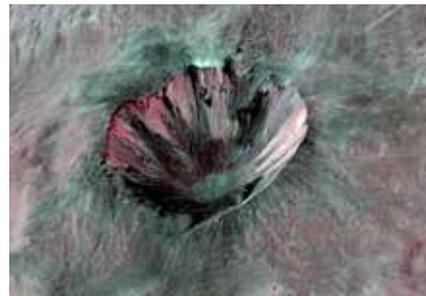
5
Поверхность Деймоса покрыта красноватым реголитом. Рядом со свежими кратерами он светлее



7
Кратеры на астероиде Эрос



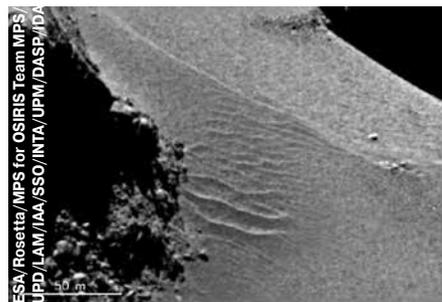
ФОТОИНФОРМАЦИЯ



10
Стенки вестийского кратера Корнелия испещрены глубокими оврагами (а), а на стенках кратера Фонтя как будто видны потоки воды (б)

луарах конференций сотрудниками НАСА сплетни о том, что в районе пятен время от времени наблюдается нечто похожее на туман. С учетом того, что планета расположена довольно далеко от Солнца, нагревается не выше десяти градусов мороза и лишена атмосферы, найти на ней туман никто не предполагал.

Одинокая гора Ахуна высотой 6 км еще загадочнее. Согласно теории, горы образуются в результате сдвига литос-



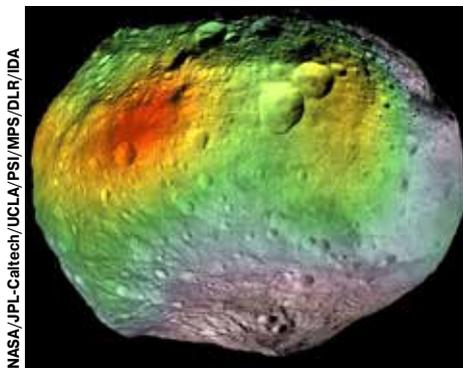
11
Испаряющиеся газы сформировали дюны из пыли на поверхности кометы Чурюмова — Герасименко



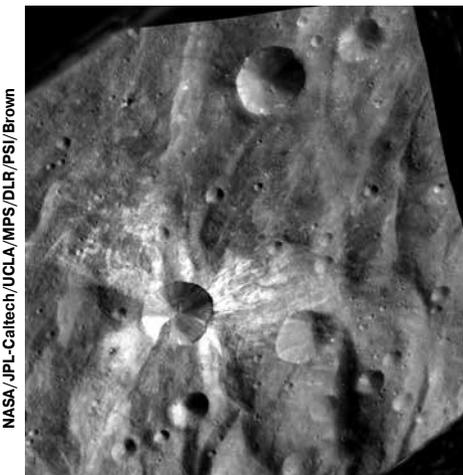
6
Самый большой кратер Фобоса размером почти с сам спутник. В его окрестностях раскиданы гигантские, диаметром до 50 м, булыжники. Не исключено, что это они прочертили борозды на Фобосе. А может быть, то были камни, выбитые с Марса

Чурюмова — Герасименко: это хорошо различимые дюны, состоящие из мелких частиц (фото 11). На Земле дюны получаются из-за действия ветра. На комете газ слишком разрежен, чтобы там дул ветер достаточной силы. Поэтому предполагают, что испаряющиеся из кометы газы поднимают вверх частицы пыли; мельчайшие из них улетают прочь, формируя хвост кометы, а более крупные не преодолевают гравитации и вскоре возвращаются назад.

А на Церере экспедицию ждали две новые находки: Белые пятна (фото 12) и Одинокая гора (фото 13). Белые пятна в месте, которое теперь называется кратером Оккатор, заметили давно — телескоп Хаббл рассмотрел их еще в 2004 году. При подлете оказалось, что за прошедшее время их форма в целом не изменилась, то есть это некие стабильные образования на поверхности планеты. Замечательно они тем, что их отражательная способность в несколько раз больше, чем у окружающей породы. Как ни странно, за несколько месяцев наблюдений ученым так и не удалось уста-

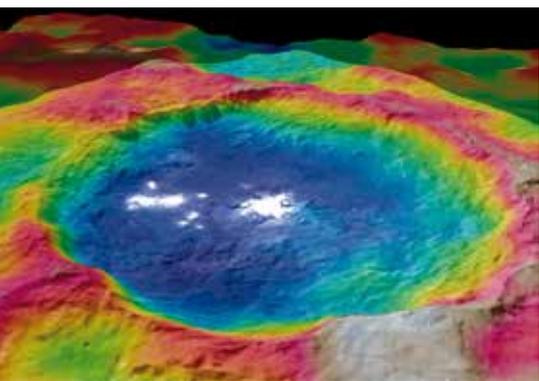


8
На экваторе Весты найдены участки с повышенным содержанием водорода (чем краснее изображение, тем его больше). Скорее всего, он входит в состав гидратированных веществ



9
У кратера Канулея выброшенный светлый материал разлетелся во все стороны, а вокруг двух соседних кратеров никаких выбросов не видно

новить состав загадочных пятен. Вполне резонные предположения, что это снег на вершине горы или остатки разбившейся о Цереру кометы, не подтвердились: пятна плоские, слабо приподняты над поверхностью планеты. В настоящее время исследователи склоняются к мысли, что это не водяной лед, а какие-то соляные отложения. Что это за соль и почему она отложилась в виде пятен — неясно. Интересы добавляют и оброненные в ку-

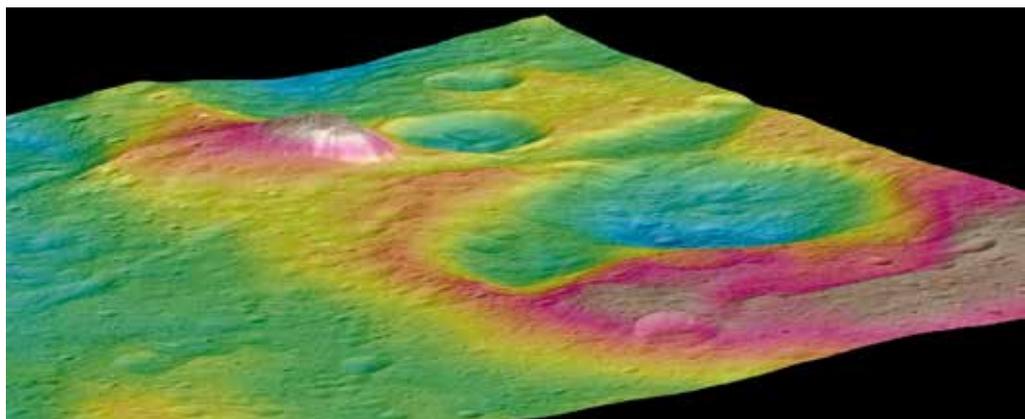


NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA/PSI

12

Загадочные Белые пятна Цереры лежат на дне кратера диаметром примерно 90 км. Цветом показана высота рельефа

ферных плит, деятельности вулканов, таяния вечной мерзлоты, течения рек или ударов других небесных тел. На Церере с очевидностью нет литосферных плит и вулканов, вечной мерзлоты и рек. А удар породить отдельно стоящую гору никак не может — она должна быть в составе какой-то кольцевой структуры. Пока что исследователи теряются в догадках, почему эта гора торчит неприкаянно посреди равнины.



13

Одинокая гора Ахуна стоит неподалеку от кратера. Разброс высот на этом рисунке — 8 км

Замечены у Цереры и другие странности. Например, трижды пролетая над одним и тем же районом, аппарат фиксировал потоки быстрых электронов. Никаких механизмов, которые могли бы их образовывать, у планеты нет. Несколько раз спектрометр, не в состоянии разрешить какой-то конфликт между поступающей информацией и заложенной в

нем программы ее анализа, на некоторое время выходил из строя. Поскольку так же он себя вел при исследовании Весты, решили, что причина — удар высокоэнергичной частицы космических лучей.

Вот так, казалось бы, рутинная экспедиция к малым планетам, не особенно популярным у широкой публики, принесла целую коллекцию загадок, над разгадкой которых теперь придется потрудиться.



Скол и черная дыра

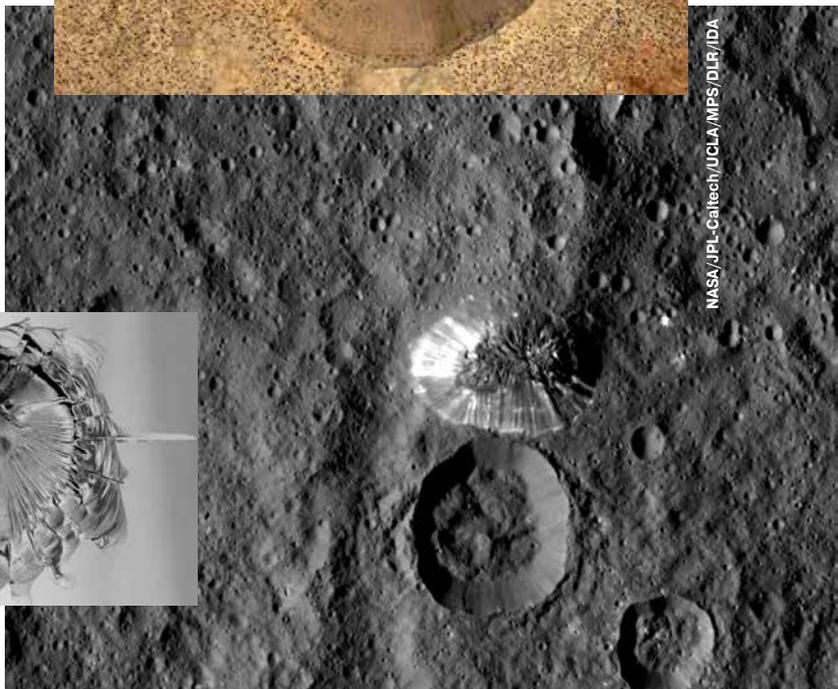
Читая материал про кратеры на разных планетах и рассматривая фотографию Одинокой горы на Церере, я поймал себя на мысли, что она удивительным образом напоминает своими очертаниями близлежащий кратер. В самом деле, площадь подошвы примерно равна площади кратера, стенки и того и другого образования покрыты продольными бороздами, вершина горы и дно кратера подозрительно плоские. Как будто какая-то сила вырвала кусок материала, перевернула да и поставила неподалеку. А еще форма кратера напоминала что-то давно знакомое. Посмотрев в окно, я нашел это «знакомое»: отколы на внешнем стекле стеклопакета (см. фото). Когда появились эти отколы, доподлинно неизвестно, но стекольный мастер сказал, что так выглядят следы пули, скорее всего, от духового ружья; видимо, кто-то из соседнего дома пробовал оружие и, выстрелив «в белый свет как в копеечку», попал в мое окно.

Выщербинка на стекле действительно напоминает кратеры на Церере, да и на Весте, Фобосе или Деймосе: кону-

Воронка просаживания после подземного ядерного взрыва



Откол стекла, вызванный ударом пули



NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA

Вокруг горы Ахуна на Церере нет никаких обломков

сообразная форма, рифленые края и зачастую плоская гладкая поверхность в центре. Так бывает при сколочном или отколочном разрушении, когда ударник, попав в хрупкий материал, не пробивает его, но отбивает кусок со стороны, противоположной удару. Причина состоит в том, что быстро летящий мелкий предмет, ударившись о большой и тяжелый, порождает импульс — ударную волну сжатия. Отражившись от внешней границы материала, она возвращается назад уже в виде волны расширения. В какой-то момент амплитуда волны деформации оказывается выше предела прочности, и откалывается фрагмент материала в виде конуса. Диаметр этого конуса может быть в десятки раз больше, чем диаметр породившего его ударника, — все зависит от свойств материала и от того, как распространяется фронт волны.

Если бы на Церере случилось сколочное разрушение, то, скорее всего, отколотый кусок, преодолев слабую гравитацию, улетел бы прочь (хотя мог остаться на орбите и, возможно, его заметили бы исследователи из НАСА, если бы они искали спутники именно такой формы). А при ином стечении обстоятельств кусок мог и не улететь, но упасть рядом, образовав гору.

Что может быть причиной откола? Первое, что приходит в голову — удар метеорита по противоположной стороне Цереры. Но тогда волне деформации придется преодолеть путь в 960 км (диаметр планеты) и при этом не рассеяться, а сохранить узкий конус распространения. Не совсем очевидно, что такое возможно.

Альтернативой служит гипотеза подповерхностного взрыва вроде тех, что происходят при подземных ядерных испытаниях, тем более что кратер при взрыве также получается конусообразным: это можно заметить, разглядывая полигон в Неваде (см. фото); подобные кратеры называют воронкой просаживания — у них нет той высокой круглой стены, что получается вокруг ударного кратера. Ожидать закладки инопланетянами ядерных фугасов на малых планетах весьма трудно, равно как и предполагать наличие горючих полезных ископаемых, взрывы которых дают кратеры аналогичной формы. Но есть и полуфантастический механизм.

При обсуждении проблемы возникновения черных дыр в Большом адронном коллайдере (см. «Химию и жизнь», 2010, № 1) были рассмотрены разные модели, позволяющие частице с энергией в тераэлектронвольты стать черной дырой. Напомним ход рассуждений. Частицы космических лучей могут разогнаться и до такой энергии, и даже в миллионы раз сильнее. Если наше пространство трехмерно, то черной дырой

ни одна из них стать не может. А вот если у нас имеются дополнительные, причем скомканные измерения, то образование черной дыры из частицы такой энергии возможно. Более того, она отнюдь не сразу испарится по механизму Хокинга, останется долгоживущей. В частности, немецкий специалист по физике плазмы и автор многих завиральных идей Райнер Плага рассмотрел пространство с одним скомканным измерением с масштабом кривизны в сотни нанометров и нашел, что в таком мире протон, достигнув энергии в тераэлектронвольты, станет дырой. Если она столкнется с веществом, то за миллисекунды дорастет до килограмма, выйдет за масштаб дополнительного измерения, но не испарится сразу, а становится метастабильной: испаряется, но одновременно и поглощает вещество с той же скоростью. Такая дыра Плаги в секунду уничтожает полкило материи и выделяет столько же энергии, сколько Земля получает от Солнца за ту же секунду. Поскольку подобных ужасов мы не наблюдаем, был сделан вывод, что ни дыра Плаги, ни другие объекты вроде нее из космических лучей получиться не могут.

Однако проблему можно рассмотреть и с другой стороны. Если подобная дыра возникла, для устойчивой работы в нее необходимо подавать вещество со скоростью звука. Когда подача прервется, дыра мгновенно испарится, и единственное, что от нее останется, — энергия, которую она смогла выработать. Эта энергия, как уже сказано, огромна, поэтому черная дыра Плаги, попав в твердое вещество планеты, скорее всего, сразу же взорвется на глубине в тысячу или несколько тысяч километров, — точное расстояние зависит от параметров скомканного измерения. На Земле такой взрыв в мантии планеты может остаться незамеченным — это зависит от выделенной энергии, то есть опять же от параметров нашего мира. А вот на малых планетах взрыв случится в районе поверхности. И он-то вызовет то самое сколочное разрушение или воронку просаживания.

Всякая гипотеза хороша, когда ее можно проверить независимым методом. Попробуем это сделать.

Если долгоживущие микроскопические черные дыры действительно существуют в космическом пространстве, их можно заметить лишь по гравитационному взаимодействию, то есть они должны входить в состав темной материи. Плотность темной материи в локальном скоплении измерена (см. «Химию и жизнь», 2014, № 3). Она составляет 0,025 солнечной массы на кубический парсек (пс). В упомянутой выше статье сделана попытка посчитать поток темной материи сквозь поверхность Земли при ее движении по орбите вокруг Солнца и вокруг центра Галактики.



А ПОЧЕМУ БЫ И НЕТ?

Церера совершает точно такое же движение, проходя примерно $8 \cdot 10^9$ км в год. Приведенная фотография поверхности Цереры имеет размер 149,5x264,7 км, или площадь $4 \cdot 10^4$ км². Годовой объем, заметаемый этой площадкой, составляет $3 \cdot 10^{14}$ км³, или $1 \cdot 10^{-35}$ пс³. За 4,5 млрд. лет получается $4,5 \cdot 10^{-26}$ пс³. В таком объеме содержится примерно две тонны темной материи.

А сколько кратеров находится на этой фотографии? Если принять во внимание только хорошо заметные, то около сотни, если распечатать фотографию с высоким разрешением и внимательно приглядеться — в несколько раз больше, под тысячу. При этом все они имеют коническую, а не цилиндрическую форму. Если эти кратеры приписать черным дырам Плаги, то за время своего существования такая площадка на Церере испытала от ста до тысячи столкновений с ними (одно столкновение в несколько миллионов лет). Разделив заметенные две тонны темной материи на это число, получим, что средняя масса дыры составляет от 20 до 2 килограммов. Это вполне разумная оценка. Именно килограммовая дыра в модельном расчете Плаги начинает стремительно испаряться, выйдя за выбранный для расчета масштаб скрытого измерения. Ну а уж о том, как протон космического луча, слишком разогнавшись и став дырой Плаги, наберет эти килограммы, можно долго фантазировать.

Получить разумную оценку при столь туманных исходных данных удается отнюдь не всегда. Поэтому точное установление научными методами механизма формирования конусообразных кратеров на малых планетах могло бы дать очень интересный результат. Вдруг на такой природной лабораторной установке удастся получить ту информацию о нашем мире, которую физики безуспешно ищут на установках рукотворных.

Ф. Манилов