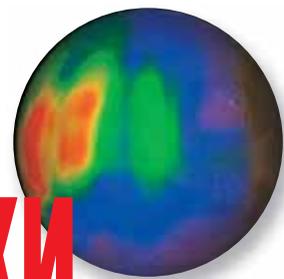


СУРДИН Владимир Георгиевич – астроном, кандидат физико-математических наук, доцент физического факультета Московского государственного университета, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. Лауреат Литературной премии им. Александра Беляева (2012) и премии «Просветитель» (2012, 2015). Автор и соавтор 1099 статей, 126 книг и 19 учебных курсов

НОВЕЙШИЕ небесные ХРОНИКИ



© В. Г. Сурдин, 2018

Ключевые слова: астрономия, космонавтика, исследование Марса.
Key words: astronomy, astronautics, investigation of Mars

Знание основ астрономии – неперенная часть культуры современного человека. Если наша страна хочет приобщиться к высокому уровню мировой культуры, она обязана дать возможность своей молодежи изучить основы естествознания, значительную долю которого составляет астрономия. Лишняя молодых людей этой возможности, мы теряем качество образования и, как результат, снижаем технологический уровень своей страны. Печальным примером этого служит современная Россия: в течение двух десятилетий у нас уменьшалась доля естественных наук в школе, а преподавание астрономии как отдельного предмета полностью прекратилось. Результат всем хорошо известен: в стране нарастает технологическое отставание, смутное представление об окружающем мире дополняется в головах молодежи мифами и околонукаными сенсациями.

Но в силу естественной любознательности школьники и студенты тянутся к знаниям о космосе, а руководители просвещения понимают необходимость этих знаний для будущих ученых и инженеров. Вот почему за последние несколько лет наиболее сильные университеты России ввели в программу физических факультетов базовые курсы по астрономии, а МГУ им. М. В. Ломоносова даже организовал межфакультетский и дистанционный курсы основ астрономии.

Наконец, с 1 сентября 2017 г. астрономия вновь стала обязательным предметом в наших школах, и это отрадно, поскольку стране нужны грамотные инженеры и ученые, а астрономия как никакая другая наука стимулирует интерес к естественным предметам: физике, математике, химии, биологии...

Астрономия вернулась в школу – и это хорошо. Вернулась второпях, без должной подготовки – и это плохо. Не подготовлены учителя, нет хороших учебников... Нужно ли было так торопиться? Вопрос риторический. Сейчас важно быстро и качественно создать базу для продуктивной работы учителей, учеников и их родителей. Школьнику нужен хороший современный учебник, учителю – задачник, а родителям – дополнительные материалы, чтобы не ударить в грязь лицом перед своими чадами в разговорах о звездах и планетах.

Мы, профессиональные астрономы и преподаватели, работаем над этим, стараясь учесть современные тенденции. За те годы, что астрономия систематически преподавалась у нас лишь немногочисленным будущим специалистам небесной науки, многое изменилось. Интернет сделал знания общедоступными, и он же породил клиповый формат сообщений. Теперь от учебного курса для широкой аудитории требуется не систематическое изложение полного объема информации по предмету, а демонстрация его связи с другими науками и областями нашей жизни, разъяснение «тонких» мест, исправление aberrаций, рожденных непрофессиональными сообщениями в Интернете. И главное, что требуется от учебника и лектора, – зажечь интерес к предмету и желание черпать дополнительные знания из окружающих потоков информации. Для этого потребуются испытать разные подходы. Один из них – перед вами. Это мои книги «Астрономия. Популярные лекции» (М.: Литео, 2017) и «Вселенная в вопросах и ответах» (М.: АНФ, 2017).

Книга «Астрономия» подготовлена на основе лекций, прочитанных в 2013–2017 гг. в МГУ им. М. В. Ломоносова и его Бакинском филиале, на физическом факультете Новосибирского государственного университета, на курсах *on-line* порталов «Лекториум» и «Открытое образование» и в некоторых публичных лекториях, клубах и средних школах России. Лекции сопровождались богато иллюстрированными презентациями, которые полностью продемонстрировать на страницах

книги невозможно, но легко найти и скачать через мою страницу в Интернете <http://lnfm1.sai.msu.ru/~surdin/>. Там же есть ссылки на видеолекции и курсы *on-line*. В подготовке этой книги самое живое участие принял новосибирский журнал «НАУКА из первых рук», коллективу которого я глубоко признателен.

Моя «Астрономия» не систематический учебник, но полезное дополнение к нему. Ведь быть культурным человеком – значит иметь ясное представление о мире, в котором ты живешь. А мир в целом, до его самых дальних пределов, изучает астрономия и пограничные с ней науки: астрофизика, астрохимия, астробиология. Знакомство с этими космическими науками развивает любознательность и стимулирует интерес к природным процессам, происходящим вокруг нас.

Но простое накопление знаний не может удовлетворить любознательного человека. Знания должны работать, их нужно уметь применять. Нынешние средства связи заливают нас потоком информации, в котором есть сведения чрезвычайно важные и интересные, но нередко встречаются ошибочные и даже лживые. Только активное знание помогает фильтровать эти потоки и получать из них ту информацию, которая развивает наш интеллект, а не засоряет мозг. Не буду вас убеждать, насколько полезен при изучении любого предмета задачник с подробными решениями. Ведь каждый из нас понимает, что «знать» и «уметь» – далеко не одно и то же. Именно задачники учат нас «уметь».

Много лет я преподаю в МГУ и ясно вижу разницу между студентами, прошедшими через олимпиады (т. е. склонными к решению нестандартных задач), и простыми зубрилами, поступившими в университет по баллам ЕГЭ. Олимпиадники стремительно выходят вперед, на 3–4 курсах начинают активно заниматься наукой, к 6 курсу имеют достойные публикации, а после окончания университета успешно делают академическую карьеру. В конце концов, что такое наука, если не умение ставить задачи и решать их.

Книга «Вселенная в вопросах и ответах» содержит сотни задач, вопросов и тестов с ответами и решениями. Эти в целом не очень сложные задачи, раскрывающие разные стороны современной астрономии и космонавтики, требуют, однако, творческого мышления и понимания предмета. Основой для некоторых вопросов стали литературные произведения, в том числе научно-фантастические повести братьев Стругацких. Такая увлекательная форма подачи помогает легче усваивать новые знания по астрономии и космонавтике и активнее оперировать ими, что важно для будущих ученых и инженеров, а также преподавателей физики и астрономии. Впрочем, я уверен, и некоторым знатокам естествознания эти задачи покажутся интересными и дадут пищу для ума.

Читайте, решайте, проверяйте свою смекалку!

История открытий НА МАРСЕ

Из книги В. Сурдина
«Астрономия.
Популярные лекции»

Запуски космических аппаратов к Марсу начались с 1962 г. Но лишь в 1965 г. мы увидели первые фотоснимки марсианской поверхности с близкого расстояния, переданные аппаратом Mariner-4 (NASA), пролетавшим мимо. И тех, кто ожидал, что Марс – благоприятное для жизни место, эти изображения «немного» разочаровали: поверхность на первый взгляд напоминает лунную и не внушает никаких перспектив. Метеоритных кратеров на Марсе оказалось много по двум причинам. Одна из них – слабая эрозия. Дождей там последний миллиард лет не было, ветер не особенно сильный, и поэтому кратеры сохраняются долго. Вторая причина – часто падают метеориты, потому что Марс находится на внутреннем краю Главного пояса астероидов

С запуска *Mariner-4* прошло несколько лет, и у Марса появился первый искусственный спутник – *Mariner-9*. Он вышел на орбиту, стал летать вокруг планеты, сделал несколько тысяч фотографий, почти всю поверхность перефотографировал – и мы впервые увидели Марс целиком. Он оказался довольно интересным, по меньшей мере для геологов. Так что надо было сажать туда аппарат.

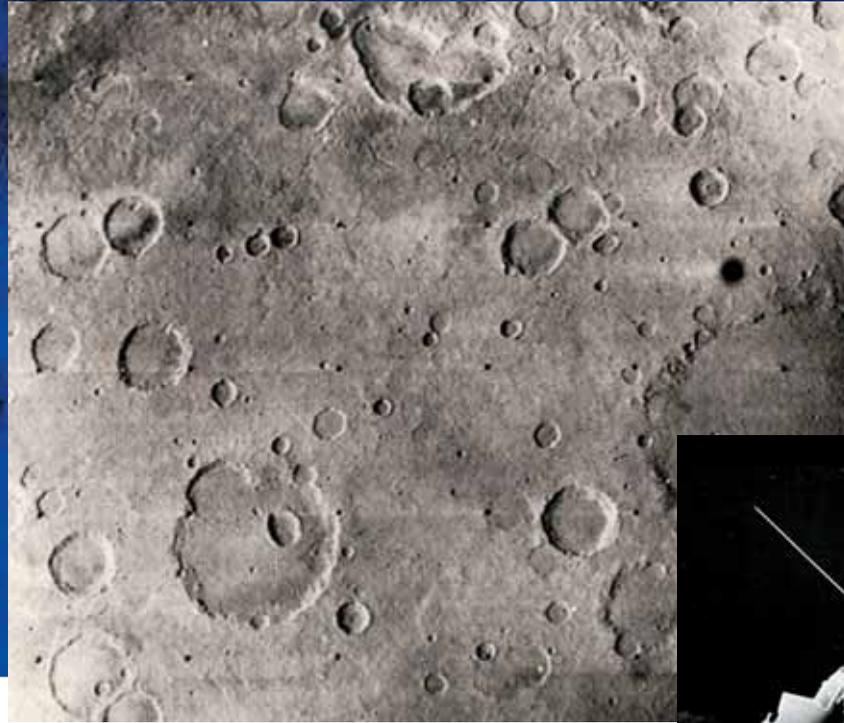
Значит, следующий шаг – посадка на планету. Как известно, отечественная электроника не очень надежная: наши (советские) аппараты по пути портились и до Марса не долетали. Тогда решили разом запускать по несколько аппаратов, чтобы хотя бы один из них долетел. И вот наша страна в 1971 г. запустила сразу три таких зонда, по конструкции не очень удачных, но в их составе был посадочный аппарат, капсула для посадки на Марс. И один из зондов таки долетел – и даже сел!

Так что первая посадка на Марс была наша, отечественная, инженеры здорово постарались. Конструкция у посадочного аппарата крепкая, на борту у него был первый в истории марсоход. Механическая лапка мягко опускала его на грунт, и он должен был ходить по поверхности Марса: не ездить на колесах, а именно ходить, как шагающий экскаватор.

Блютусов и вайфаев в ту пору не было, связь с базовой станцией была по проводу, т. е. марсоход должен был ходить привязанным на проводе, и далеко бы он в любом

«Маринер-9», первый искусственный спутник Марса. Credit: NASA





Одна из первых фотографий марсианской поверхности с близкого расстояния.
Credit: NASA

«Марс-3» (СССР), первый аппарат, совершивший мягкую посадку на Марс (Роскосмос)



случае не ушел. Но насколько далеко он ушел, никто не знает, потому что после выпуска антенн станция проработала всего 10 секунд, потом сигнал перестал поступать по неизвестной причине. Так что никаких данных с поверхности мы тогда не получили.

С тех пор многие страны, прежде всего СССР и США, стали запускать роботов. Удачных экспедиций у СССР было немного: половина автоматических аппаратов не долетели (даже в один конец) – дело это непростое. Американские и европейские зонды были более удачными.

Недавно к Марсу прилетел индийский аппарат – и ведь работает до сих пор, уже третий год, хотя техника стран третьего мира нам казалась чем-то второразрядным. Тем не менее индийцы впервые запустили межпланетный аппарат, и им это удалось. А японцам – нет, их космический зонд добрался до Марса, но затормозить не смог и на орбиту не вышел.

Итак, для геологов Марс оказался очень интересным. Планета небольшая, сила тяжести там почти втрое меньше, чем на Земле. Ведь сила тяжести поверхность выравнивает (по закону Архимеда), и когда гравитация слабая, то разница высот может быть весьма значительной. Поэтому на малых планетах и горы могут вырастать выше, и каньоны образовываться глубже. Так, на Земле максимальная высота гор – около 9 км, а на Марсе – 26 км, хотя плотность и твердость пород примерно одинаковая. На нашей планете более высокие горы не построить. Даже если на Эверест наложить

кирпичей, то выше он не станет – избыточной массой гора продавит свое основание.

Марсианские каньоны тоже очень глубоки, до 10 км. Один из самых глубоких назвали Долиной Маринера – в честь того самого, который впервые сделал его снимок. Длинной он около 4000 км, шириной – почти 800 км, глубиной – около 7 км. Правда, на Земле самое глубокое место – Марианская впадина – примерно такой же глубины, но это благодаря тому, что она заполнена водой.

Как и у нашей планеты, у Марса есть две полярные шапки. Весной солнышко пригревает (до -80°C), полярная шапка начинает под его лучами интенсивно таять, так как она в основном состоит из углекислого газа. Газ испаряется в атмосферу и замерзает на другом полюсе, который в тени. В результате огромное количество CO_2 устремляется через всю планету по меридианам из одного полушария в другое, этот ветер поднимает массу пыли и тем самым вызывает пылевую бурю. Хотя атмосфера Марса разреженная и сила тяжести на его поверхности небольшая, тем не менее даже такая атмосфера может создать мощный воздушный поток, который способен поднять пыль. И так повторяется

Облака в атмосфере и полярные шапки Марса (космический телескоп «Хаббл», NASA, ESA)



Долины Маринера. Снимок представляет собой мозаику из 102 кадров, полученных орбитальным аппаратом «Викинг-1» в 1980 г.
Credit: NASA

дважды в год (марсианский, который почти вдвое длиннее земного).

«Маринеру-9» в этом отношении не повезло: он подлетел, начал фотографировать, а тут вдруг «бах» – и пылевая буря. Прошло лишь полтора месяца с начала весны, и пыль, поднятая ветром, заволокла всю поверхность. Четыре земных месяца зонд дождался окончания пылевой бури, чтобы продолжить свою работу.

Сегодня вокруг Марса работают много зондов. Самый сильный из них – американская (NASA) межпланетная станция *Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)*. У него мощный фотографический комплекс с большим телеобъективом, который позволяет получать фотоснимки поверхности планеты с линейным разрешением в четверть метра – именно такого размера детали могут быть различимы. Например, на снимках видны следы колес марсоходов. Эта орбитальная станция по радиоканалу передает информацию на Землю, и не только собственную, но и ретранслирует сигналы марсоходов с поверхности планеты, когда пролетает над ними.

Карты марсианского рельефа на сегодня более детальны, чем карты земной поверхности. На нашей планете мешают облака, вечнозеленые тропические леса. Кроме того, две трети поверхности нашей планеты покрыты водой, сквозь которую не видно ничего из того, что на дне. А на Марсе воды нет, облаков мало, зелени нет, поэтому его внешний вид мы знаем идеально.

И даже внутри кое-что прощупали. Физикам известно, что любая волна проникает внутрь тела на расстояние порядка длины этой волны. *MRO* имеет

в своем распоряжении радиолокаторы, в том числе и длинноволновые (около километра). И его снимки Марса показывают много интересных деталей. Как правило, эти детали узнаваемы и имеют аналоги в земном рельефе. Вот, например, следы таяния полярной шапки. На ледниках Эльбруса есть точно такие же слои – для геологов очень знакомые структуры.

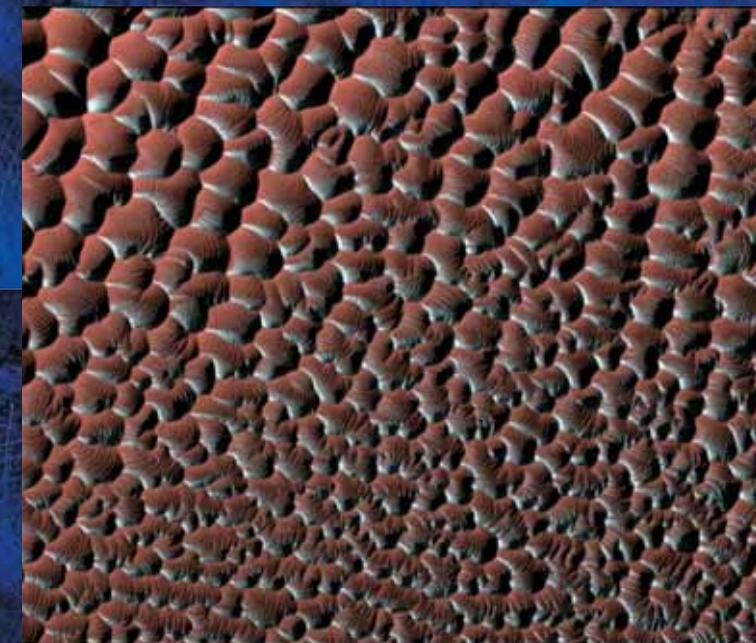
Казалось бы, а что может быть на Марсе не таким, как на Земле? Но вот картина не очень знакомая, похожая на шоколад или черепицу. Интересно, что скажут специалисты-геологи – есть ли такое у нас? Или вот – песчаные дюны, ветер дует, песок переносится. Но тут отделился светлый песок от темного: дюны из черного песка, а подстилающая поверхность – из более светлого. У нас на спутниковых снимках Земли такого сочетания мне не приходилось видеть. Хотя черный песок есть на Канарских островах, это вулканическое вещество: лежишь на пляже – ты белый, а он черный. Еще интересный пример космической съемки с орбиты: из красноватого песка вроде бы «кустики» торчат.

Марс вдвое меньше Земли, но все равно площадь поверхности планеты огромная, а марсоходы, в сумме исходившие лишь около 10 км^2 , ничего подобного не обнаруживали.

Два снимка Марса, полученные в 2001 г. аппаратом *Mars Global Surveyor*. Слева: фото, сделанное в конце июня (четко видна поверхность планеты); справа: в июле, когда Марс был окутан пылевой бурей.
Credit: NASA/JPL/MSSS



Межпланетная станция *Mars Reconnaissance Orbiter*.
Credit: NASA

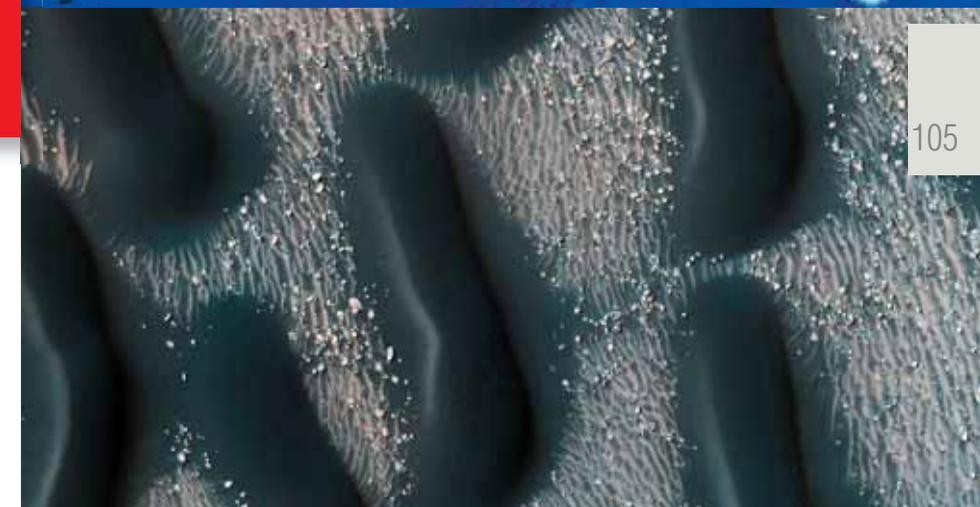
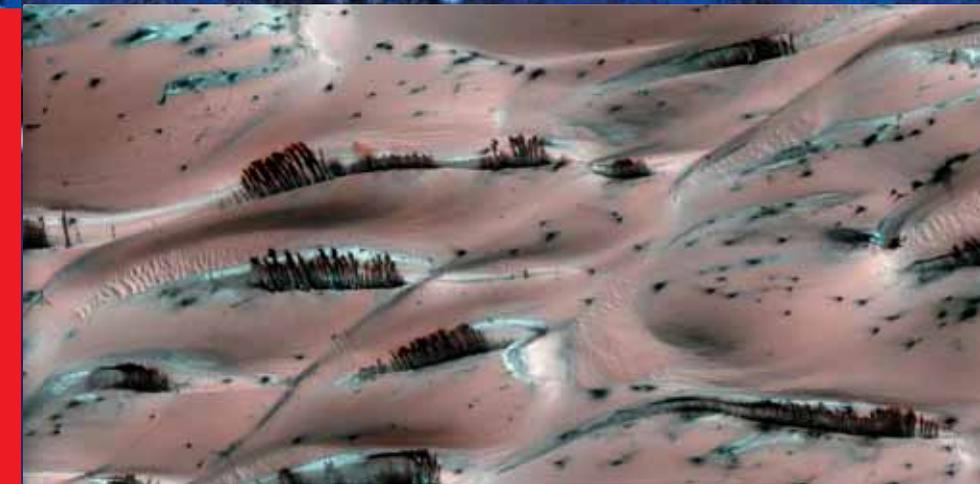


Удивительный марсианский рельеф. Размер изображения по диагонали – около 1 км

Марсианский ледник в процессе таяния

Темные оползни на Марсе, сверху напоминающие живые растения

Дюны из черного базальтового песка в марсианском кратере Проктор. *Credit: NASA*



Марсианская вода

В полярной шапке вода, конечно, есть, но судя по тому, что эта шапка очень интенсивно тает под солнцем, мы понимаем, что воды там очень мало. В основном вещество шапки – это углекислый газ, который при низком марсианском давлении испаряется при -120°C .

Однако мы видим следы водных потоков, явные речные русла, сеть притоков, размытые овраги. Что-то там все же текло! Судя по всему, на Марсе даже море было, целый океан: в северном полушарии планеты поверхность очень ровная, вся выглаженная, как у нас морское дно, и ниже среднего уровня высоты метров на триста. Но куда вся эта вода делась? Наверное, часть замерзла, а часть испарилась. Но не вся же? Или вся?

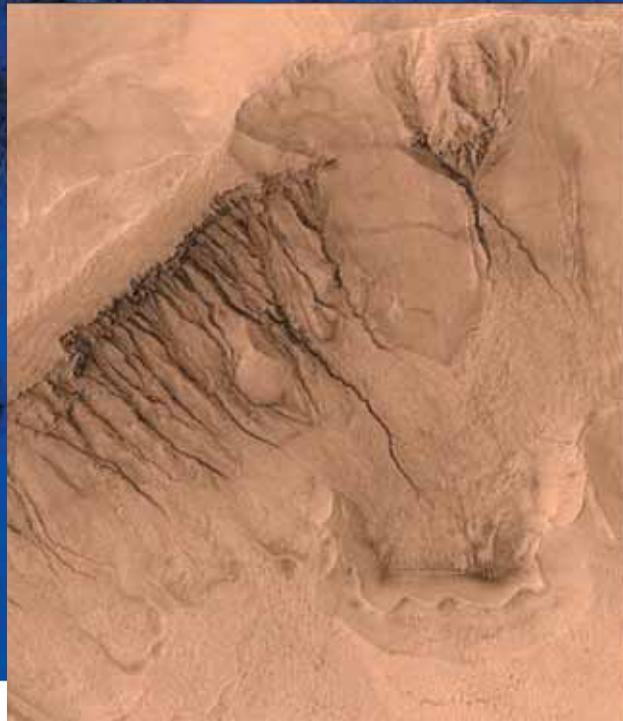
Итак, следов течения много, но жидкой воды нигде не видно. А дело в том, что чистой жидкой воды на поверхности Марса быть не может. В прошлом давление марсианской атмосферы, по-видимому, было довольно высоким, но в нашу эпоху в среднем оно в 160 раз меньше земного – около 0,006 атм (на вершине горы Олимп 0,003 атм, а в долине Эллада 0,016 атм). А поскольку атмосфера Марса в основном состоит из углекислого газа, парциальное давление водяного пара в ней еще значительно меньше, т.е. существенно ниже давления, определяющего так называемую *тройную точку* на фазовой диаграмме воды, в которой сходятся линии

плавления льда и испарения жидкой воды. При давлении ниже, чем у тройной точки, чистая вода при любой температуре может устойчиво пребывать лишь в двух агрегатных состояниях – льда и пара. Лед мы видим в полярных шапках, пар тоже есть – о его присутствии в атмосфере говорят облака. А жидкой воды нет. Правда, на снимках с орбиты на некоторых склонах гор и оврагов видны следы «ручейков». Возможно, иногда под лучами весеннего солнца из слоев вечной мерзлоты вытекают крепкие рассолы перхлоратов, температура замерзания которых существенно ниже, чем у чистой воды: вот их следы и обнаружены. Но постоянных водных потоков нет. Значит, часть воды замерзла и лежит в вечных полярных шапках и слоях вечной мерзлоты, а другая часть испарилась и улетела в космос. Но почему она улетела? Ведь с Земли-то практически не улетает!

У нашей планеты есть магнитное поле, которое довольно надежно защищает нас от потоков солнечной плазмы. Из-за магнитного поля этот солнечный ветер с атмосферой Земли практически не взаимодействует: заряженные частицы плазмы облетают планету вдоль силовых линий поля и уходят вдаль. А у Марса нет магнитного поля: его ядро застыло, и в нем нет конвективных потоков электропроводящего материала, которые бы создавали это магнитное поле. И солнечный

ветер постепенно сносит атмосферу Марса (и воду в ней) за собой, так что к настоящему времени она уже почти полностью потеряна. Солнце высушило Марс.

Но есть надежда, что не вся вода высохла. Часть замерзла и осталась под поверхностью. Раньше мы могли лишь догадываться об этом, а теперь есть наглядные свидетельства.



Вот край каньона, видны какие-то струйки, потоки. Может быть, это из слоев мерзлоты по весне оттаивает вода и течет? Или, может быть, песочек сыплется – такая же, наверное, картинка была бы. Хотя он и с поверхности мог сыпаться, а тут бороздки начинаются с глубины около 100 м. Значит, скорее всего, это оттаивает слой мерзлоты.

По весне, ручейки скатываются вниз. И что мы тут видим? Везде поверхность шершавая, а здесь абсолютно ровная, застывшая, похожая на каток. Если, как выяснилось, каналов марсиане не делают, то вот такие ванны для сбора весенних ручьев они, видимо, все-таки строят. Кто же иначе сделал этот бортик? Его построила сама природа: вода, замерзая, надстраивает такие стенки. Есть похожее явление в Памуккале (Турция): когда вода испаряется, соли из рассола выпадают в этом месте и постепенно образуют подобные стенки.

Американцы в октябре 2015 г. видели с орбиты тоже лишь следы текшего рассола. На фотографии, полученной зондом *Mars Reconnaissance Orbiter*, разным цветом выделен разный химический состав. Вдоль «ручейков» обнаружены перхлораты, т. е., скорее всего, это следы воды, которая содержала растворимые соли хлорной кислоты. СМИ нам преподнесли это открытие в духе «Ура! Там есть вода, должна быть жизнь». Но подумайте, могла ли в такой воде быть жизнь? Ведь соли окисленного хлора – это вещь, убийственная для белковой жизни. Ими унитазы чистят в целях дезинфекции,



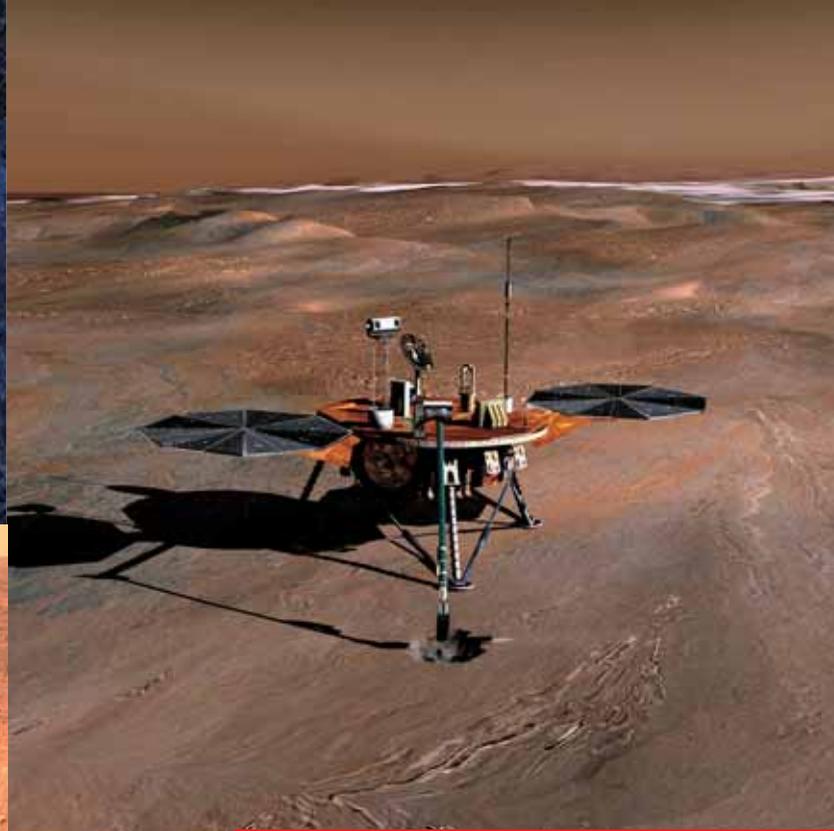
Вероятно, по весне вода оттаивает из обнажившегося ледника и стекает в моментально замерзающее озерцо. *Credit: Malin Space Science Systems, MGS, JPL, NASA*

Химическое разнообразие марсианской поверхности. Оттенки цвета соответствуют разному минеральному составу. *Credit: NASA*

Панель солнечной батареи и ковш «экскаватора» зонда *Phoenix*, расположенный на роботизированной руке-манипуляторе аппарата. *Credit: NASA/JPL-Caltech/University of Arizona/Texas A&M University*

потому что они все разъедают. Хотя где-то в Калифорнии есть ядовитое озеро с похожим химическим составом, и микробы там приспособились. Но одно дело адаптация, а другое – зарождение жизни в такой среде. Лично у меня эта информация энтузиазма не вызывает.

Замерзшая вода, вероятно, осела в полярной шапке. На фото видна четкая граница между внешней и внутренней ее частями. По весне внешняя тает, а внутренняя на протяжении всего лета сохраняется. Вероятнее всего, наружное кольцо – углекислота, а во внутреннем круге лежит вода в виде вечного льда, который не тает



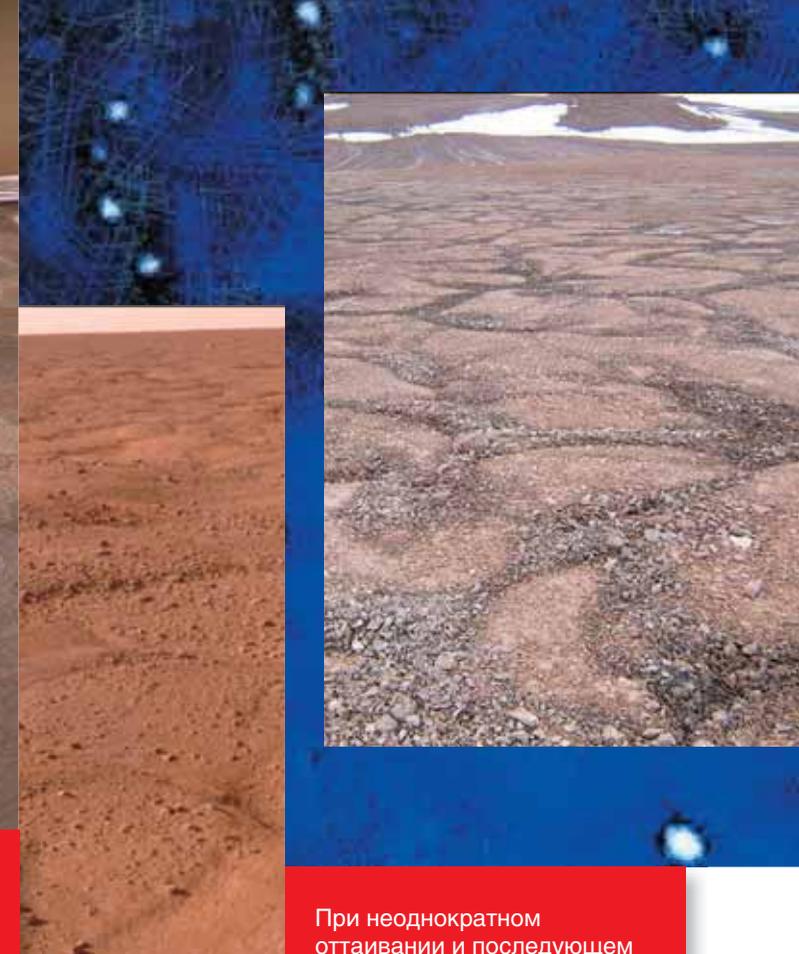
Американский зонд *Phoenix* был посажен внутри области зимней полярной шапки. *Credit: NASA*

и не возгоняется, потому что там круглый год низкие температуры.

Чтобы это проверить, в 2009 г. NASA забросило туда зонд *Phoenix*. Он сел на внешнее кольцо летом, т. е. во время полярного дня, полгода работал, а как только солнце зашло, замерз. Но кое-что полезное сделать он успел. По внешнему виду полярная область Марса почти не отличается от канадской тундры. И там, и тут структура поверхности одинаковая, потому что летом грунт оттаивает, а зимой замерзает, и возникающие при этом конвективные потоки вещества приводят к формированию структур наподобие пчелиных сот.

У зонда *Phoenix* был манипулятор, чтобы ямки копать, и кое-что интересное он для нас накопал. Выкопал ковшиком канавку, а там что-то белое: может, соль, может, вода, может, CO_2 . Но через несколько дней, в течение которых солнышко пригревало канавку, картинка стала иной – совсем немного белого вещества испарилось. Значит, лед? Скорее всего, да, потому что углекислота испарилась бы полностью, а соль осталась бы вся, т. е. на глубине всего 10 см докопались до водяного льда.

Для будущих космонавтов это весьма приятное открытие: если мучит жажда, то взял лопату, копнул – и вот тебе вода. Растопил ее – и пей, если не боишься перхлоратов. Но в полярных районах их, скорее всего, нет, потому что они осаждаются, когда вода высыхает. А на полюса летит водяной пар без солей,



При неоднократном оттаивании и последующем замерзании полярного грунта на Марсе (слева) и на Земле (справа) образуются похожие структуры

при конденсации которого получается чистый лед, практически из дистиллированной воды, подобной нашей, совсем пресной дождевой воде.

Итак, вода на Марсе есть, но на вопрос о наличии жизни на нем ответить гораздо сложнее. Дело не только в химии: на поверхности планеты очень мощная радиация, а жизнь ее «не любит».

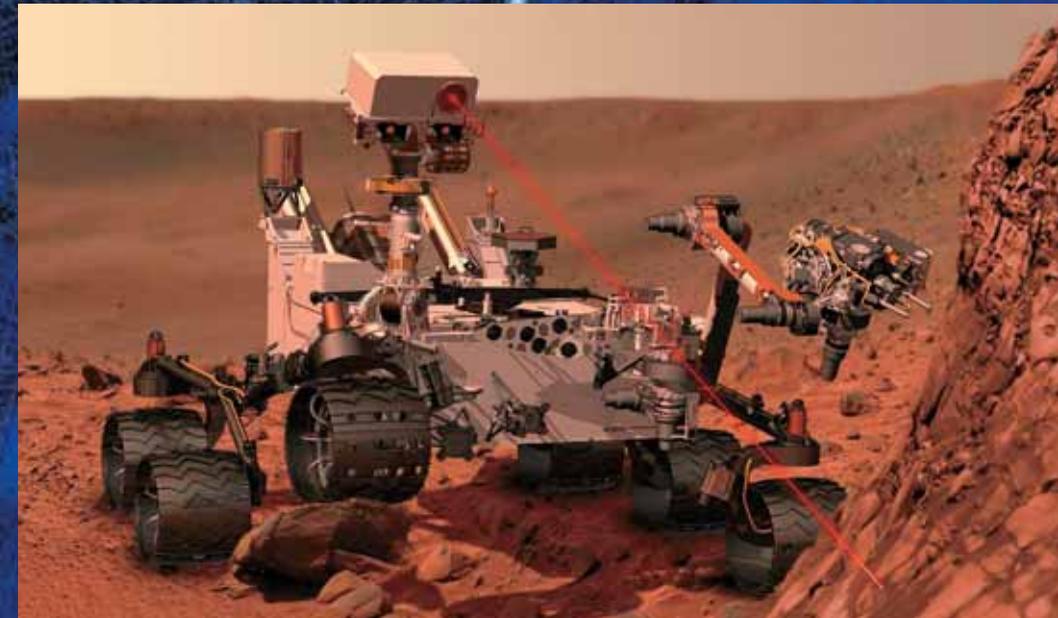
Для геологического исследования на Марс в 1997 г. опустился зонд *Mars PathFinder* (NASA) с небольшим марсоходом *Sojourner*. Колесики у него были маленькие, поэтому далеко уйти по пересеченной местности он не мог, но и в доступной ему окрестности он хорошо поработал. Марсоход прижимал свои приборы (альфа- и гамма-спектрометры) к поверхности и анализировал химический состав горных пород.

Два других геологических марсохода – *Spirit* и *Opportunity*. Первый из них проработал 6 лет, потом увяз в песчаных дюнах и сломался. А второй работает уже 13 лет без ремонта, хотя на столь долгий срок никто и не надеялся. Хотя бы потому, что питается этот марсоход исключительно солнечной энергией, а во время пылевых бурь его солнечные панели должно было засыпать, и они бы перестали вырабатывать электричество.



Геологические марсоходы Spirit и Opportunity были отправлены на Марс в 2003 г.
Credit: NASA

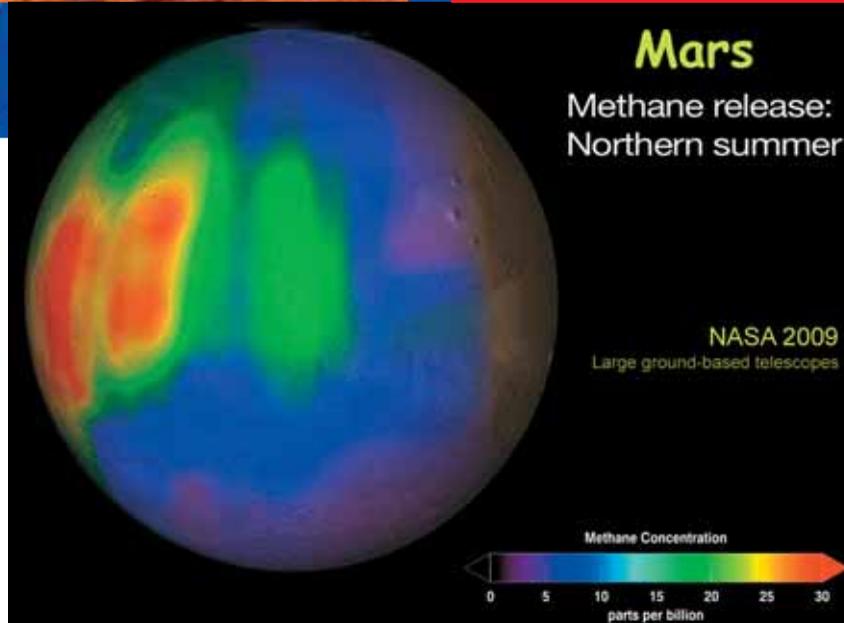
В атмосфере Марса обнаружен метан в концентрации до 0,003%



Так оно и случилось. Но потом подул сильный ветер и очистил фотоэлементы от пыли, и они снова начали функционировать. И так случалось уже неоднократно, так что ветер на Марсе оказался очень полезным.

Самое лучшее, что мы (точнее, NASA) имеем сегодня на Марсе, – гигантская машина *Curiosity*, посаженная на него в 2012 г. Внедорожник с 21-дюймовыми колесами, весом почти в тонну (на Земле), с великолепным источником питания. У него нет солнечных батарей, зато есть ядерный реактор, в котором плутоний-238, распадаясь, греет термоэлементы, дающие в результате *эффекта Пельтье* электричество. Этого ядерного источника энергии хватит на десятки лет.

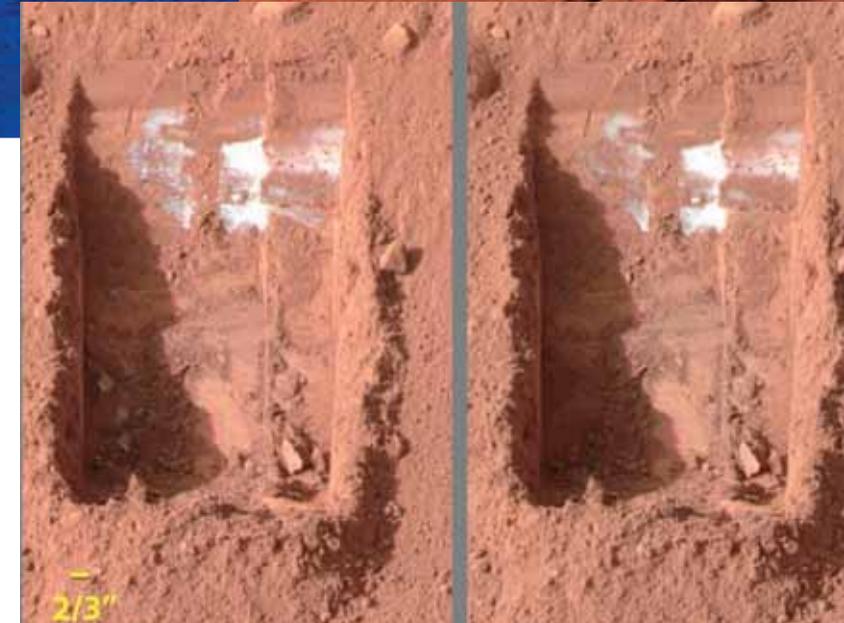
Для отбора образцов у *Curiosity* есть манипулятор – штанга двухметровой длины. Но это не предел расстояния, на котором он может анализировать материалы. У машины есть уникальная штука – инфракрасный лазер, который «стреляет» многоджоулевыми импульсами, испаряя породу. Раскаленный пар (точнее, облачко плазмы) излучает,



телескоп собирает это излучение, спектрометр его анализирует. То есть этот аппарат своим «лучевым оружием» может сканировать вертикальную стенку издали там, куда «рука» не дотягивается.

В арсенале *Curiosity* имеется и один российский прибор, сделанный в Институте космических исследований РАН (Москва). Это нейтронный детектор для поиска воды под поверхностью Марса. Встроенный в него источник испускает поток нейтронов, который проникает в грунт на глубину более метра. Если нейтроны встречают на пути атомы водорода (которые входят в состав молекулы воды), то они ими рассеиваются и обратно не «отскакивают». А если легких ядер там нет, то нейтроны частично отражаются назад.

Самое интересное открытие в поисках жизни на Марсе – то, что в 2009 г. наземные телескопы обнаружили в атмосфере планеты спектральные линии метана. Метан – это продукт либо вулканических извержений, либо жизнедеятельности каких-то организмов (у нас, например, его в больших объемах выделяет крупный рогатый скот). Но марсианские вулканы давно



Марсианский «внедорожник» *Curiosity*, работающий на ядерном топливе.
Credit: NASA

В марсианском грунте под растаявшей летом полярной шапкой было обнаружено белое вещество. Через несколько земных дней очень небольшая его часть растаяла

замерзли и ничего из себя уже не выбрасывают. Значит, остается вторая гипотеза. Правда, ни одной коровы на Марсе пока не замечено, но это могут быть микроорганизмы, разлагающие органические материалы. Скорее всего, это микробы, которые зарылись глубоко в грунт, чтобы радиация их не убила. На нашей планете от солнечной и космической радиации защищает атмосфера. Поэтому, чтобы сделать простую оценку глубины, на которой достигается хорошая защита от радиации, можно мысленно сжать всю толщину земной атмосферы до плотности грунта – получится менее пяти метров.

С искусственных спутников Марса уже обнаружены входы в марсианские пещеры. Это такие дырки-шахты, вертикальные колодцы, довольно широкие, размером со стадион. На льду очень контрастно выделяются. Что внутри этих дырок – пока не знаем. С орбиты видно только, что там темно. По-видимому, они имеют карстовое происхождение.

На нашей планете тоже встречаются подобные входы в подземелье. Недавно на Таймыре была обнаружена такая воронка (Оленченко, 2014).

Карстовые явления на Земле – это когда вода, вымывает в глубинном слое грунт, образуется сеть пещер, потом где-то обваливается крыша, и таким образом получается вход в пещеру. Вулканическая лава также может проплавить внутренние горизонты.

А в пещерах условия для жизни очень хорошие. Одна такая пещера есть во Франции. На ее поверхности жизни почти нет, одни туристы, но внутри она просто буйствует, потому что и влажность там выше, и температура стабильнее (нет



Карстовый провал в земном грунте (Гватемала, 2010 г.)

Внутри пещеры. Диаметр этого колодца примерно соответствует марсианским. Но их происхождение может быть разным: на Земле «работает» вода, а на Марсе могла действовать вулканическая лава. Фото В. Сурдина

суточных перепадов), и радиация еще меньше, чем наверху. Такое отверстие диаметром в 60 м сначала уходит вертикально вниз до глубины 70 м, потом ход становится горизонтальным. Это обычный карстовый коридор, в котором обвалился потолок.

Есть надежда, что и на Марсе явление то же самое, т. е. под грунтом имеются пустые пространства, и они наиболее благоприятны для развития жизни. Но изучить их не представляется возможным, потому что роботы-спелеологи пока не создали: современные роботы могут лишь бегать по поверхности и летать в атмосфере.

Конечно, для существования жизни пещеры не обязательны, живые организмы могут обитать и в грунте.

Так, все пространство земной коры до глубины в 3 км населено микробами (глубже температура становится выше 100 °С, и закипает вода). По оценкам специалистов, полная биомасса микробов под поверхностью земли должна быть намного больше, чем всех существ на поверхности (на суше и в воде) вместе взятых, включая китов, слонов, людей и др. Таким образом, можно сказать, что в основном земная жизнь (как и марсианская, если она там есть) сосредоточена в глубине плотного грунта.

В рамках миссии марсохода *Curiosity* был задуман замечательный биологический эксперимент: аппарат должен был выкапывать с глубины песочки, засыпать его в баночку, заливать питательным раствором и далее смотреть, как активно марсианские микробы там будут размножаться. Но, к сожалению, емкость с этим

раствором разбилась при посадке. Это был единственный эксперимент среди запланированных для *Curiosity*, который не удалось выполнить. И так, жизнедеятельность микробов он увидеть не сможет, но у него есть действующий масс-спектрограф, который способен обнаруживать в пробах грунта молекулы нуклеиновых кислот и белков, хотя это даст лишь косвенное подтверждение возможности жизни на планете.

Но пока *Curiosity* занимается лишь геологией. Посадили его внутри большого метеоритного кратера около большой (5 км высотой) центральной горы. Она сложена осадочными породами, которые век за веком наслаивались друг на друга, и эту «геологическую летопись» Марса за последние пару миллиардов лет геологи мечтают изучить. Сейчас марсоход уже подъехал к подножию горы, и ближайшая его задача – подняться на нее как можно выше. Это непросто: марсианские камешки оказались весьма острыми и делают дырки в алюминиевых колесах робота. Из-за полученных повреждений движется он медленно, тем более что ведет его не по прямой, а в обход камней, так что доберется ли он до самой вершины – неизвестно.

Космонавты на Марс если и полетят когда-нибудь, то не скоро. А пока будем его исследовать роботами.

Очередной проект по исследованию Марса, *ExoMars*, изначально задумывался как европейско-американский, но в 2013 г. американцы отказались от него и прекратили финансирование. Европейцам (*ESA*) для его продолжения своих денег не хватило, и они предложили России участвовать в нем.



Один из провалов в марсианском грунте, возможно, карстовой природы. Credit: NASA / Jet Propulsion Laboratory/University of Arizona

Марсоход по проекту *ExoMars*. Credit: ESA/Роскосмос

Согласно проекту, Роскосмос предоставляет ракеты, посадочную платформу и некоторые приборы, а *ESA* создает спутник, спускаемый аппарат «Скиапарелли» и марсоход. Первая часть программы уже реализована. Ракета «Протон-М» с разгонным блоком «Бриз-М» 14 марта 2016 г. отправила к Марсу экспедицию, которая 19 октября 2016 того же года прибыла к Красной планете. Посадка «Скиапарелли» прошла неудачно – аппарат разбился. Спутник *Trace Gas Orbiter* вышел на орбиту и нормально работает, изучая малые компоненты марсианской атмосферы (особый интерес представляет метан).

В конце 2018 г. на Марс должен опуститься стационарный аппарат *InSight* (*NASA*), внешне похожий на *Phoenix*, но с более интересным набором приборов. В частности, он должен установить на грунте сейсмометр и, просверлив грунт, опустить на глубину около 5 м датчик для измерения теплового потока из недр планеты. Вторая часть российско-европейской экспедиции *ExoMars* планировалась на 2020 г., но теперь перенесена на 2020 г. Российская посадочная платформа должна доставить на поверхность шестиколесный марсоход массой 270 кг, оборудованный бурильным станком, способным добыть грунт с глубины 1,5–2,0 м. На марсоходе

будет комплект приборов для минерального и химического анализа этого грунта. Специальные методы будут использованы для обнаружения биомаркеров.

Так что ждем новых открытий.

Литература

Сурдин В.Г. Как часто бывает Новый год на Марсе? // *Постнаука*, 1 января 2017. <https://postnauka.ru/faq/71676>.

Ксанфомалити Л.В. *Парад планет*. М.: Наука. Физматлит, 1997. 256 с., 48 с. цвет. ил.

Марс: великое противостояние / Ред.-сост. В.Г. Сурдин. М.: Физматлит, 2004. 224 с. + карты.

Мороз В.И. *Физика планеты Марс*. М.: Наука, 1978.

Сурдин В.Г. На Марс в один конец? (видеолекция, 44 мин) // *Лекторий Set Up*. <https://www.youtube.com/watch?v=EWTfIMTN0IY>.

Сурдин В.Г. Марс: каналы и пещеры // *Постнаука*, 15 июля 2013. <https://postnauka.ru/video/14842>.

Сурдин В.Г. Роботы летят на Марс. Видеолекция // *Элементы*. <http://elementy.ru/video?pubid=431878>.

Избранные задачи с решениями

Из книги В. Сурдина «ВСЕЛЕННАЯ в вопросах и ответах»

Задача 1

Летом 2018 г. произойдет великое противостояние Марса. Почему астрономы так любят эти моменты? Дело в том, что на поверхности Марса в момент противостояния в телескоп видны детали размером не менее 100 км. А какого размера детали будут видны на Марсе в тот же телескоп вблизи соединения, т. е. в неблагоприятную для наблюдений эпоху?



Ответ 1

Поскольку угловой размер деталей фиксирован параметрами телескопа, их линейный размер будет пропорционален расстоянию до Марса. Пусть $a_3 = 1$ а. е. – полуось земной орбиты, $a_M = 1,5$ а. е. – полуось орбиты Марса. Тогда среднее расстояние между ними в соединении будет $(a_M + a_3)$, а в противостоянии $(a_M - a_3)$.



Значит, размер наименьших деталей, которые могли бы быть видны на Марсе вблизи соединения (если бы Солнце не мешало), равен: $100 \text{ км} \times (a_M + a_3) / (a_M - a_3) = 500 \text{ км}$.

Задача 2

Для земного наблюдателя Марс виден как весьма яркое светило, легко различимое невооруженным глазом.

А как будут выглядеть Земля и Луна для наблюдателя, находящегося на Марсе? Ведь скоро такие появятся!



Ответ 2

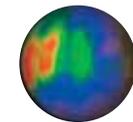


Отношение полуосей орбит Земли ($a_3 = 1$ а. е.) и Марса ($a_M = 1,5$ а. е.) почти такое же, как для орбит Венеры ($a_V = 0,72$ а. е.) и Земли. Поэтому подобными будут и наблюдаемые конфигурации планет. Размеры Земли и Венеры почти равны, а коэффициент отражения света (*альbedo*) у Земли должен быть раза в 2 меньше, поскольку Венера вся покрыта облаками, а Земля обычно лишь наполовину. Поэтому отношение потоков света от Венеры на Земле (E_V) и от Земли на Марсе (E_3) в одинаковых конфигурациях будет равно отношению их освещенностей Солнцем (a_3^2 / a_V^2), умноженному с учетом альbedo

на 2 и деленному на отношение квадратов расстояний между источником и наблюдателем (закон обратных квадратов для освещенности):

$E_V / E_3 = 2(a_3 / a_V)^2 ((a_M - a_3) / (a_3 - a_V))^2 = 12,3$
 В звездных величинах это составит $2,5 \lg (E_V / E_3) = 2,7^m$. Например, в наибольшей элонгации Венера для землян имеет блеск $-4,1^m$, значит Земля для «марсиан» в такой же конфигурации будет блестеть как звезда $-1,4^m$, т. е. как Сириус, или как у нас блестит Марс в противостоянии.

Лунный радиус почти вчетверо меньше земного, и альbedo у Луны раз в 5 ниже. Поэтому она будет отражать почти в 100 раз меньше света, чем Земля, т. е. будет слабее ее почти на 5^m . Впрочем, звезду $3,5^m$ вероятно будет нетрудно разглядеть на ясном марсианском небе, тем более, что ее угловое расстояние от яркой Земли в моменты наибольших элонгаций может достигать $9'$ (проверьте это значение самостоятельно).



Снимок Земли и Луны с орбиты Марса.
 Credit: NASA/JPL-Caltech/University of Arizona



- Конфигурации планет
- 1 – нижнее соединение
 - 2 – наибольшая западная элонгация
 - 3 – верхнее соединение
 - 4 – наибольшая восточная элонгация