

Вселенная

пространство + время

Международный научно-популярный журнал
по астрономии и космонавтике

№3 (163) 2018

На протяжении своей истории человечество не раз оказывалось на грани полного вымирания. В наше время вероятность этого даже выросла: к естественным опасностям добавилась угроза самоуничтожения в результате мировой войны. Спасет ли нашу расу космическая экспансия?

**Свидание со
звездой Шольца
и судьба
человечества**

**Стивен
Хокинг**

*Последнее слово
о будущем*

**ПОИСКИ
ИНЫХ МИРОВ**

*Космические
обсерватории
сегодня и завтра*

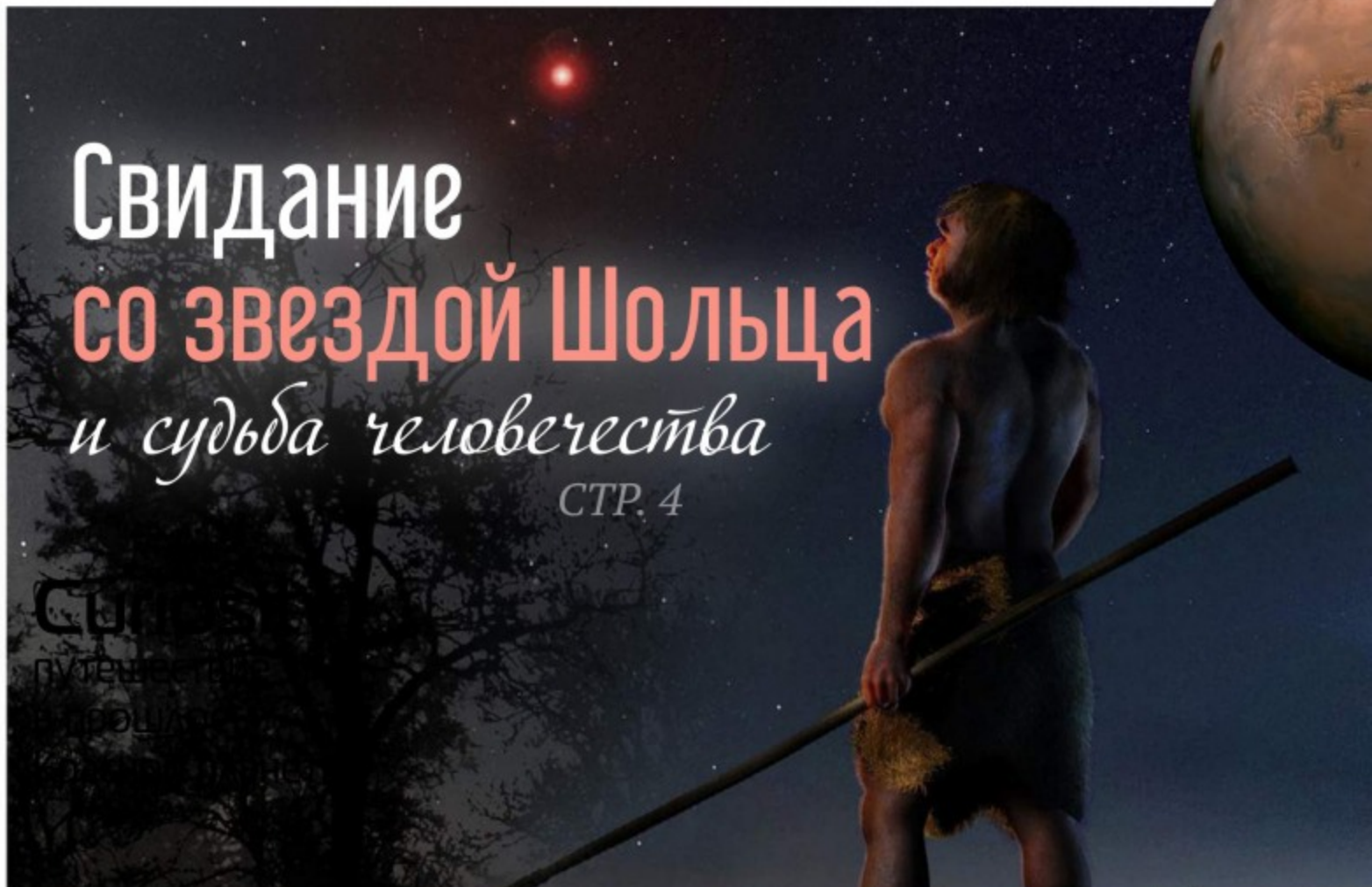
ДОГГЕРЛЕНД
«Атлантида»
Северного моря

красный карлик
TRAPPIST-1
и его планетное
семейство

PROXIMA b
планета
беспокойной
звезды

Свидание со звездой Шольца и судьба человечества

СТР. 4



ДОГГЕРЛЕНД

«Атлантида»
Северного
моря

СТР. 12



Стивен
Хокинг
последнее
слово
о будущем
СТР. 18



Руководитель проекта, главный редактор:
Гордиенко С. П.

Выпускающий редактор:
Манько В. А.


Редактор:
Размыслович К. Р. (Минск)

Редакционный совет:
Митрахов Н. А. — Президент информаци-
онно-аналитического центра «Спейс-Ин-
форм», директор киевского представитель-
ства ГП КБ «Южное», к.т.н.

Вавилова И. Б. — ученый секретарь Совета
по космическим исследованиям НАН Укра-
ины, вице-президент Украинской астроно-
мической ассоциации, кандидат ф.-м. наук


Рябов М. И. — старший научный сотрудник
Одесской обсерватории радиоастрономи-
ческого института НАН Украины, кандидат
ф.-м. наук, сопредседатель Международно-
го астрономического общества

Олейник И. И. — генерал-полковник, доктор
технических наук, заслуженный деятель
науки и техники РФ



МАРСИАНСКАЯ
КОЛОНИЯ
спасение для
человечества?

СТР. 22



PROXIMA В
планета
беспокойной
звезды

СТР. 24

ВСПЫШКА
Проксимы
Центавра

СТР. 31



Красный карлик TRAPPIST-1
и его планетное
семейство

СТР. 32

ОУМУАМУА

комета, астероид
или межзвездный
корабль?

СТР. 23



Космические
обсерватории
сегодня и завтра

**ПОИСКИ
ИНЫХ
МИРОВ**

СТР. 38

Андронов И. Л. — декан факультета
Одесского национального морского уни-
верситета, доктор ф.-м. наук, профессор,
вице-президент Украинской ассоциации
любителей астрономии

Дизайн, верстка: Кисилица Е. Б.
IT-сопровождение: Голыда А. Р.

Учредитель и издатель:
ЧП «Третья планета»
Зарегистрировано Государственным
комитетом
телевидения и радиовещания Украины.
Свидетельство КВ 7947 от 06.10.2003 г.
© ВСЕЛЕННАЯ, пространство, время —
№ 3 (163) 2018

ВСЕЛЕННАЯ, пространство, время —
международный научно-популярный
журнал по астрономии и космонавтике,
рассчитанный на массового читателя



Свидание со звездой Шольца и судьба человечества

Михаил Видейко

доктор исторических наук,
заведующий научно-исследовательской лабораторией археологии Киевского университета им. Грушевского



Видейко Михаил Юрьевич

Родился 23 января 1956 г. в Киеве. В 1982 г. окончил кафедру археологии Исторического факультета Киевского государственного университета им. Т.Г.Шевченко. С 1982 по 2016 г. работал в Институте археологии НАН Украины. В 1996–2003 гг. и 2007–2009 гг. — сотрудник НИИ памятниковоохранных исследований при Министерстве культуры Украины, член Ученого совета ИА НАНУ. В настоящее время — заведующий Научно-исследовательской лабораторией археологии историко-философского факультета Киевского университета им. Бориса Гринченко. Доктор исторических наук (с 2016 г.).

Круг научных интересов: археологическое источниковедение, нео-энеолитическая эпоха на европейском континенте, раннеземледельческие культуры медного века, трипольская культура.

Автор более 600 печатных научных работ, в том числе 17 монографий, посвященных проблемам археологии и древней истории Карпато-Дунайского региона. Член редакционной коллегии и главный редактор «Энциклопедии трипольской цивилизации» (2003–2004). Член редколлегии электронного журнала *Trypillian civilization journal* (с 2010 г.). Автор более сотни научно-популярных работ, в числе которых — 24 книги по археологии и истории Украины. Почетный гражданин поселка Триполье.



В 2015 г. группа исследователей из Рочестерского университета (штат Нью-Йорк) обратила внимание на двойную систему WISE 0720-0846, состоящую из красного и коричневого карлика. Она была открыта в 2013 г. немецким астрономом Ральфом-Дитером Шольцем (Ralf-Dieter Scholz) и позже неофициально получила его имя. Звезду Шольца отделяет от нас на 20 световых лет, однако, несмотря на близкое по астрономическим меркам расстояние, ее собственное движение (проекция относительной скорости на небесную сферу) оказалось неожиданно маленьким. Это могло свидетельствовать о том, что она быстро удаляется от Солнечной системы — либо же, наоборот, приближается к ней.

Измерения радиальной скорости звезды Шольца выявили заметное красное смещение линий в ее спектре — следовательно, она удаляется от Солнца с большой скоростью. Из проведенных вскоре после этого вычислений стало ясно, что всего 70 тыс. лет назад она прошла на сравнительно небольшом расстоянии от Солнечной системы. Моделирование показало, что дистанция сближения составила от 0,6 до 1,2 световых лет. Это в 3,5-7 раз меньше, чем текущее расстояние до ближайшей к нам звездной системы α Центавра. Такой «тесный контакт» неминуемо должен был оказать определенное влияние на орбиты объектов облака Оорта — удаленного региона Солнечной системы, служащего «хранилищем» долгопериодических комет.

Астрономы из Мадридского университета Комплутенсе (Universidad Complutense de Madrid) и Кембриджского университета решили удостовериться в верности выкладок своих коллег. Они изучили 339 удаленных объектов Солнечной системы с гиперболическими (незамкнутыми) траекториями. При отсутствии внешних возмущений они были бы равномерно распределены по небу. Но в реальности значительное количество радиантов — точек небесной сферы, из которых «вылетели» объекты — оказалось сосредоточенным в созвездии Близнецов. Это совпадает с расчетным положением звезды Шольца во время сближения.

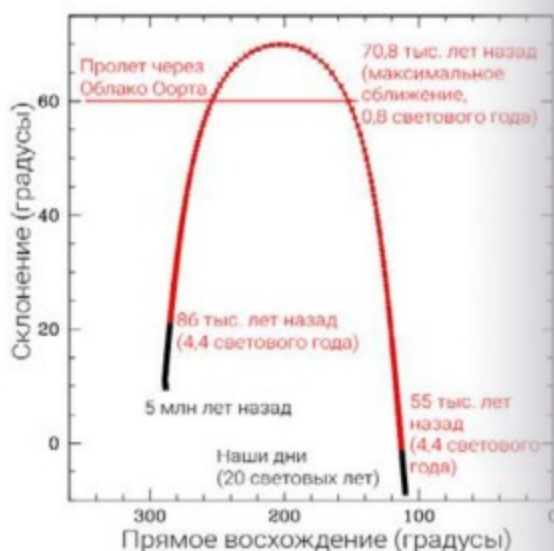
Исследователи имеют все основания считать, что это — не просто совпадение. Используя данные об орбитах объектов, они создали уточненную модель траектории пролета звезды. Она показала, что система WISE 0720-0846 должна была приблизиться к Солнцу на расстояние около 0,8 светового года.

Полученная информация вызывает немало вопросов, в том числе связанных с влиянием столь тесного пролета на историю человечества.

Самый простой вопрос: могли ли жившие в то время люди видеть звезду Шольца невооруженным глазом? Красные карлики очень тусклы, и даже на столь малом расстоянии ее было бы крайне сложно рассмотреть на небе. В то же время подобные светила часто производят весьма мощные вспышки, во время которых они способны на порядки увеличивать свою светимость. Так что в теории необычная звезда могла кем-то наблюдаться (хотя бы на протяжении короткого времени). Наиболее интересен тот факт, что во время сближения с системой WISE 0720-0846 на Земле одновременно обитало три разумных вида — неандертальцы, денисовцы и человек современного типа. Причем, если посмотреть на карты их расселения, между собой они почти

С точки зрения наземных наблюдателей звезда Шольца «вылетела» порядка 150 тыс. лет назад из созвездия Орла. Примерно 75° ее видимого пути пришлось на пролет сквозь Облако Оорта. Как показывают последние вычисления, во время наибольшего сближения с Солнцем — почти 71 тыс. лет назад — она находилась в созвездии Большой Медведицы, но даже тогда не была видна невооруженным глазом (разве что при наиболее мощных вспышках). Позже «небесная

гостья» начала удаляться от нас, двигаясь по созвездиям Рака, Близнецов и Малого Пса в направлении созвездия Единорога, где она пребывает в наши дни. На данной карте показан современный вид звездного неба (за указанный период времени он претерпел заметные изменения). Видимая траектория пролета известна с точностью до нескольких градусов, минимальное расстояние — с точностью до 17%.



▲ Наиболее вероятная траектория звезды Шольца, восстановленная на основании ее нынешнего местоположения и относительной скорости. Крестики проставлены со 100-летними интервалами (заметно, что угловая скорость объекта в эпоху максимального сближения была наибольшей). В настоящее время основной компонент скорости звезды — радиальный. Красным цветом показан участок траектории в пределах сферы гравитационного влияния Солнца (радиусом порядка 4,4 светового года).

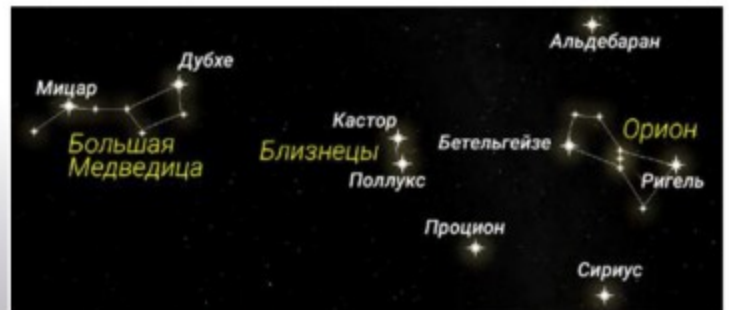
★ Яркость звезды Шольца показана условно

Звездные величины

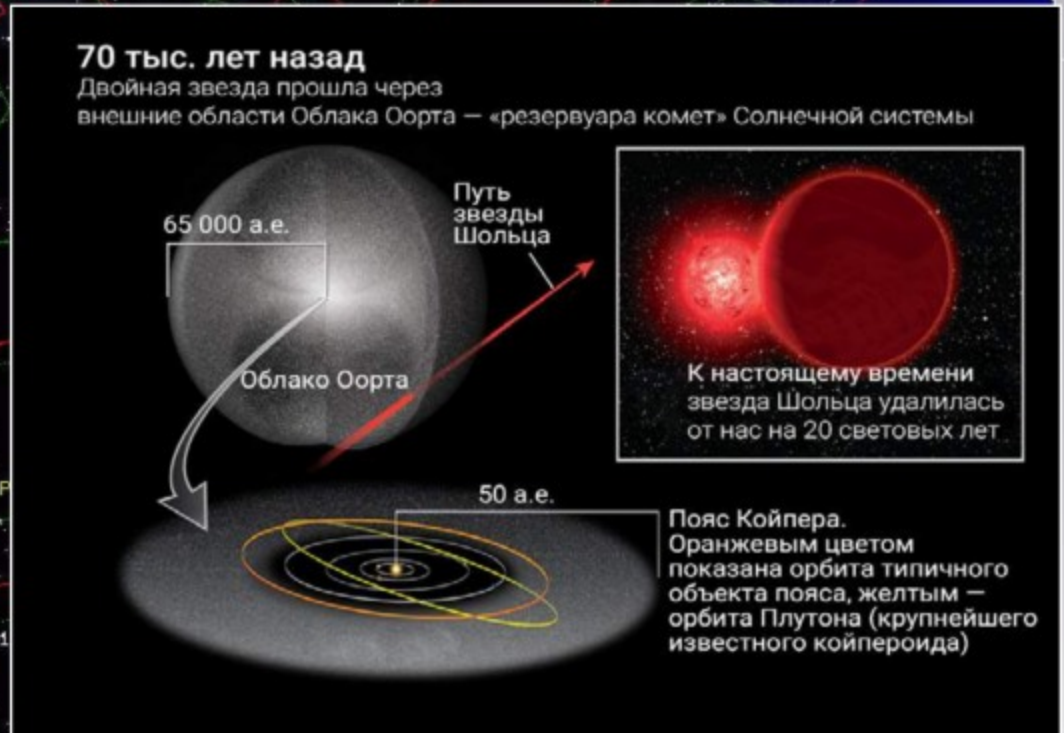
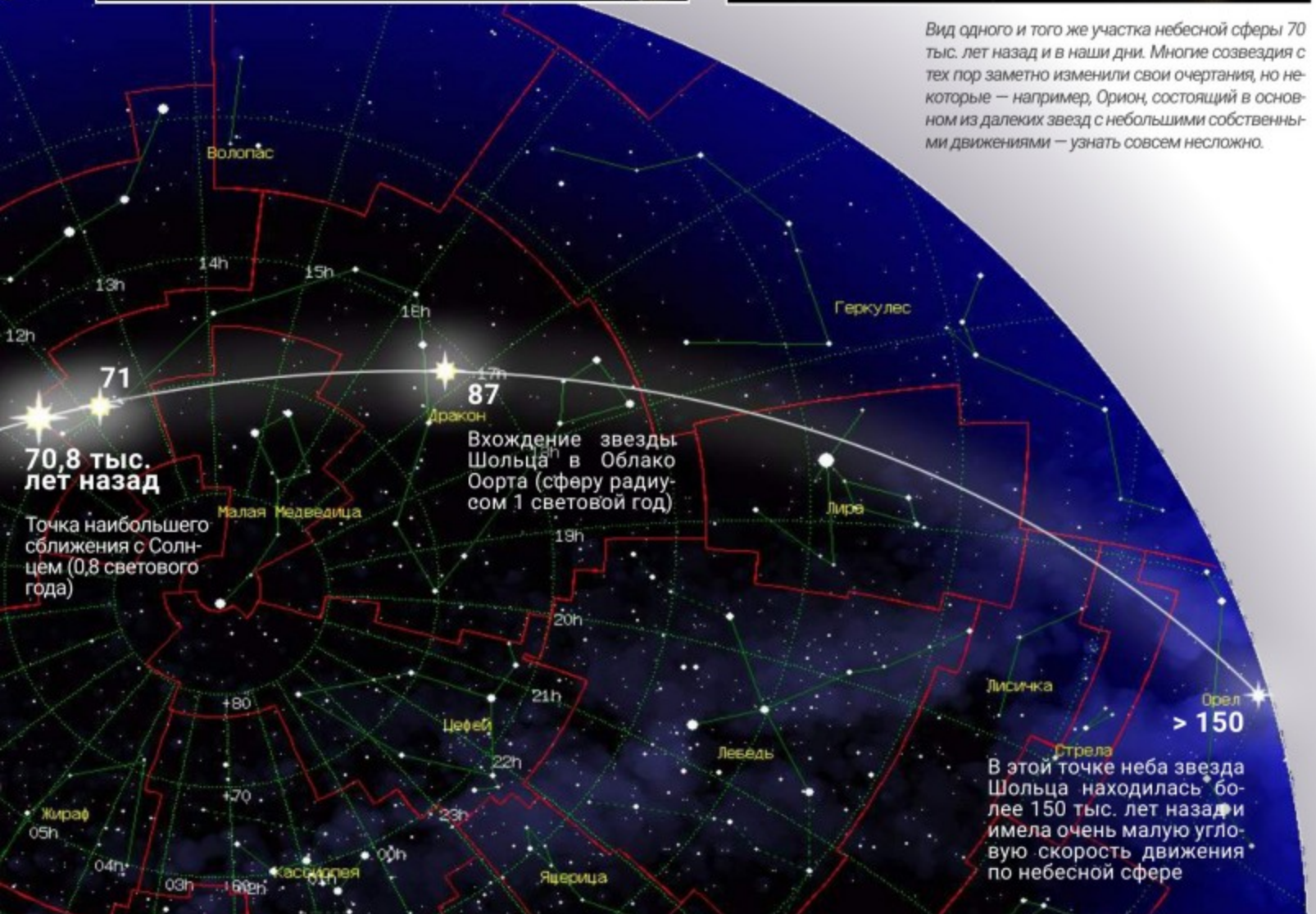


Наши дни

В этой точке неба звезда Шольца видна в наши дни на расстоянии 20 световых лет.



Вид одного и того же участка небесной сферы 70 тыс. лет назад и в наши дни. Многие созвездия с тех пор заметно изменили свои очертания, но некоторые — например, Орион, состоящий в основном из далеких звезд с небольшими собственными движениями — узнать совсем несложно.

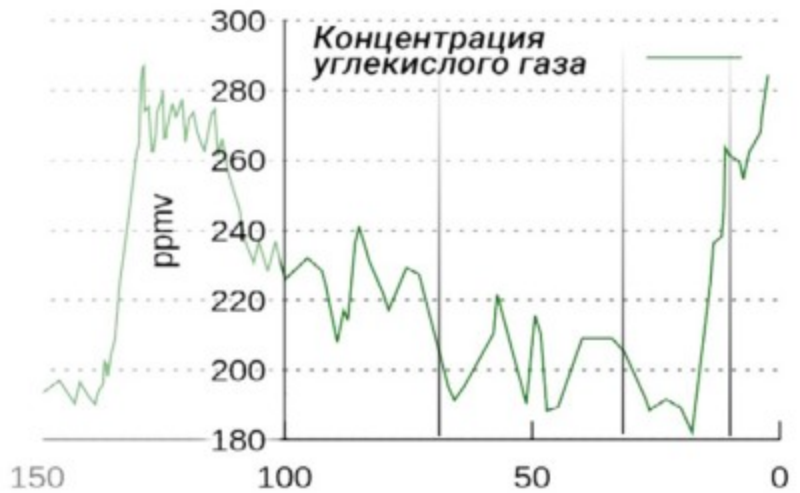
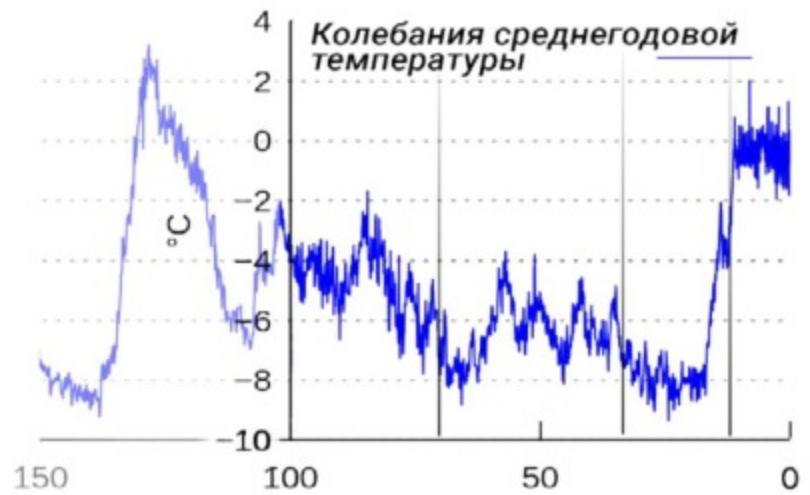


не пересекались. Неандертальцы господствовали на севере, денисовцы осваивали Алтай, а предки нынешнего человечества расселялись по берегам южных морей, направляясь в сторону Австралии. Так что если красный карлик и в самом деле был виден на земном небе, за ним одновременно наблюдали глаза трех видов разумных существ. И у каждого из них вполне могли сложиться свои собственные легенды об этом событии. Могли появиться такие легенды и на землях, которые сейчас являются территорией Украины: здесь неандертальцы обитали во многих местах — и на западе, и в центре, и на юге. Не исключено, что кто-то из древних додумался связать неожиданно возникшую среди «постоянных» звезд красную точку с имевшими место в те далекие времена катастрофическими событиями. Впрочем, ни одна из этих легенд не дошла до наших дней — все-таки это было очень давно.

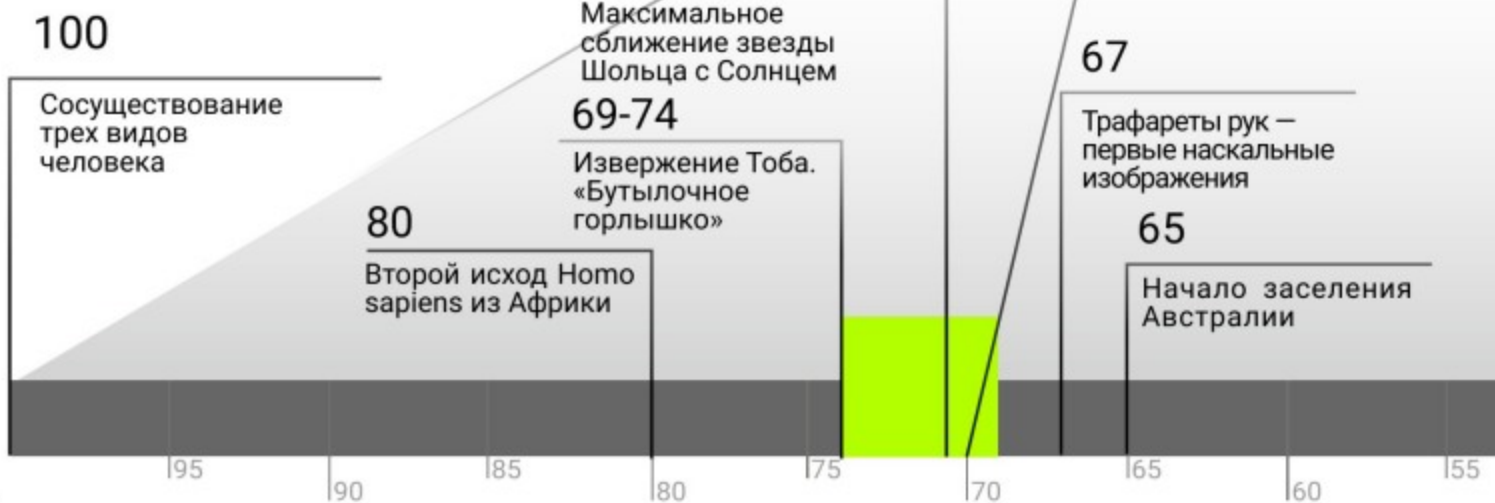
Но есть вопросы и поинтереснее. Например, не повлияло ли каким-то образом сближение с WISE 0720-0846 на ситуацию на нашей планете? Известно, что пролет звезды практически совпал по времени с мощным извержением супервулкана Тоба в современной Индонезии, случившимся, согласно принятым оценкам, 74-69 тыс. лет тому назад. Поскольку примерно тогда же наши далекие предки, решившие отпра-

► Графики изменения среднего значения температуры у земной поверхности (синий), концентрации углекислого газа (зеленый) и пылевых частиц в приземном слое воздуха (красный), построенные по результатам анализов ледяных кернов с российской антарктической станции Восток. Считается, что повышенное содержание пыли соответствует более холодным и сухим периодам. Глобальные изменения климата, в частности, являются следствием вековых изменений эксцентриситета орбиты Земли, а также наклона ее оси вращения к орбитальной плоскости.

100 тысяч лет до космической эры



Тысяч лет назад



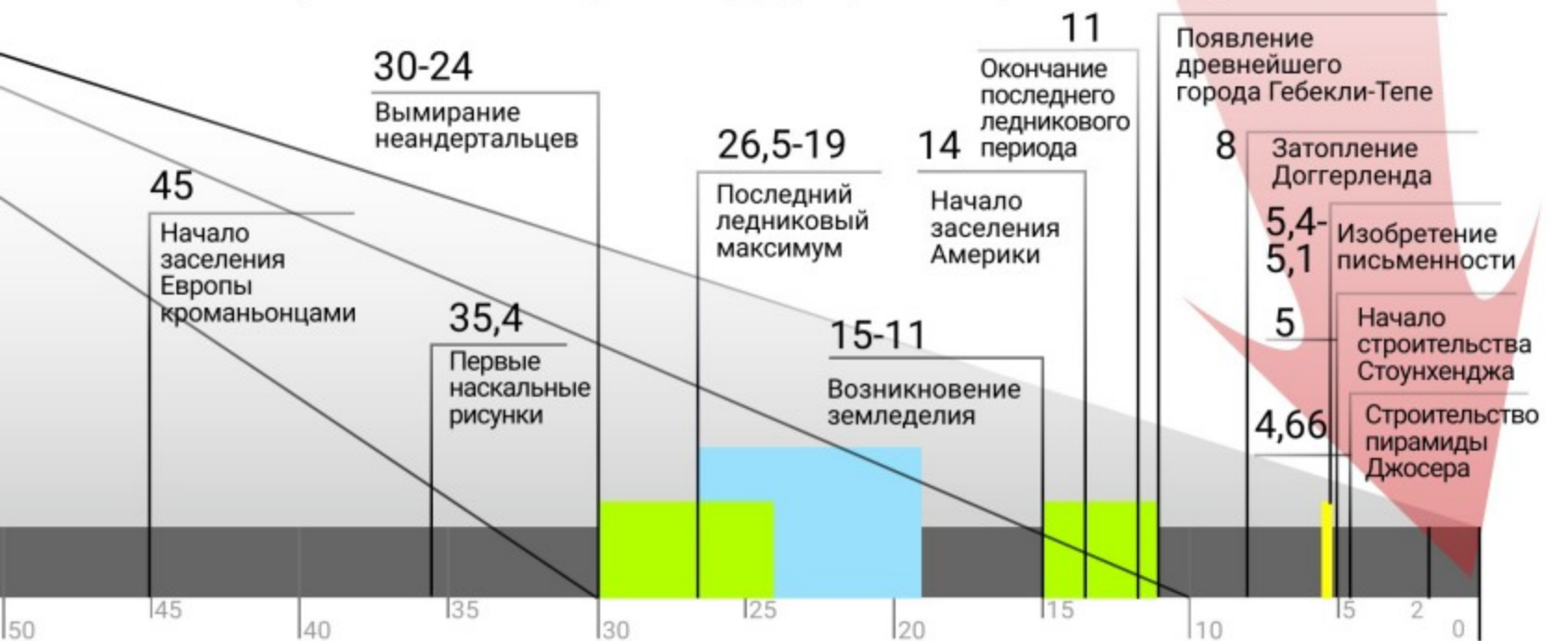
виться из благодатной в те времена Аравии на восток вдоль берегов южных морей, находились в радиусе воздействия последствий катастрофы (выпадения пепла и прочих смертоносных проявлений), это привело к одновременному сокращению человеческой популяции до нескольких тысяч или даже сотен человек, поставив наш вид на грань вымирания. При этом денисовцам и неандертальцам повезло — места их обитания непосредственно извержением затронуты не были. Это событие изменило историю планеты Земля, отодвинув ее освоение видом *Homo sapiens sapiens* на десятки тысяч лет. При ином сценарии человечество вполне могло бы перейти к земледелию, а значит — и построению современной цивилизации не 10-15, а как минимум 20-30 тыс. лет тому назад со всеми вытекающими последствиями. В нашей же реальности заселение Европы современными людьми началось не более 45 тыс. лет назад. Зато неандертальцы получили еще несколько десятков тысяч лет для доброй охоты на просторах Евразии.

Популярная теория также гласит, что извержение вулкана Тоба вызвало глобальное похолодание, которое привело к долговременным изменениям климата. Тогда это означало продвижение ледников к югу, и одновременно — концентрацию влаги в виде льда, что стало причиной сокращения количества осадков и засухи в более южных широтах. Впрочем, такая ситуация не была новостью: к тому времени ледниковый период продолжался не один десяток тысяч лет, и все обитатели Земли к нему так или иначе



Ареалы обитания неандертальцев и денисовского человека. ▲

успели приспособиться — кто-то оброс шерстью (носороги, мамонты), а кто-то успешно использовал огонь и научился изготавливать одежду из шкур своих «соседей» по тундре. Но если неандертальцам и денисовцам для охоты на мамонтов и прочую холодоустойчивую фауну вполне хватало приледниковой зоны, то для *Homo sapiens sapiens* на исторической прародине (то есть в Аф-



рике и ее ближайших окрестностях) проблемы могли возникнуть более серьезные. Собственно, выход за ее пределы — для начала в Аравию, а затем и далее на восток — как раз и был поиском их решения, которое в итоге оказалось весьма неудачным из-за катастрофы с супервулканом.

Близкий пролет системы WISE 0720-0846 мог изменить орбиты объектов кометного Облака Оорта, в том числе достаточно крупных, таким образом, чтобы вероятность их столкновения с Землей (пусть и в отдаленном будущем) резко увеличилась. Сюжеты с падением астероида или кометы в последние десятилетия весьма популярны среди писателей и кинематографистов. Стоит отметить, что сближение затронуло лишь тела, располагавшиеся достаточно близко к траектории звезды Шольца. Знаменитый «межзвездный астероид» Оумуамуа (1I/Oumuamua) также не имеет никакого отношения к этому событию — он пришел в Солнечную систему со стороны созвездия Лиры, очень далекого от Ближнецов. Одновременно исследователи отметили восемь комет, орбитальные характеристики которых указывают на то, что они могут являться межзвездными объектами. В их числе — кометы C/1853 R1, C/1997 P2, C/1999 U2, C/2002 A3, C/2008 J4, C/2012 C2, C/2012 S1 и C/2017 D3. Ученые надеются, что их дальнейшее изучение поможет подтвердить эту гипотезу, а значит, мы получим возможность добыть информацию о химическом и минеральном составе тел из дру-

гих звездных систем. И еще — понять, могут ли (а если да — то как именно) такие «визиты» повлиять на земную жизнь и судьбы человечества.

Однако есть и еще один аспект, касающийся пролета WISE 0720-0846. Сюжет почти фантастический, но все же... Связан он с возможностью существования разумной жизни на одной из планет упомянутой системы (кстати, после открытия тысяч экзопланет такое предположение не кажется столь уж невероятным). Учитывая относительно небольшое расстояние во время сближения, энтузиасты поисков братьев по разуму полагают вполне реальной экспедицию с обитаемой планеты звезды Шольца на Землю. И в самом деле: даже земляне с их уровнем технологий приблизились к такой возможности, а запустить к ближайшим светилам автоматический зонд нам под силу уже сейчас. Правда, при современном уровне космической техники это будет «билет в один конец».

Множество энтузиастов верит в то, что в далеком прошлом нашу планету посещали представители инопланетных цивилизаций, и не теряет надежды найти свидетельства «палеоконтакта».

А если такой визит и вправду имел место? С каким именно видом удалось проконтактировать пришельцам — с неандертальцами, денисовцами, *Homo sapiens* или же со всеми тремя? В данном случае многое зависит от места высадки: в Европе «принимающей стороной» оказались

бы неандертальцы, в Центральной Азии — денисовцы, в Африке и где-нибудь на аравийском побережье, а также на континенте Сахул (объединявшем в те времена Австралию и Новую Гвинею) за кораблем инопланетян наблюдали бы уже наши предки. Он мог приземлиться где-то на побережье Индии, будучи похороненным под многометровым слоем вулканического пепла на дне морском вследствие извержения вулкана Тоба и подъема уровня Мирового океана на десятки метров за последующие тысячелетия. Чудный сюжет для фантастического сериала — вплоть до того, что часть инопланетян вполне могла «застрять» если не на Земле, то в пределах Солнечной системы из-за невозможности вернуться к родным звездам.

Впрочем, гораздо интереснее рассматривать это событие как пример благоприятной возможности для землян в будущем достичь другой звездной системы во время подобного сближения, не тратя десятки лет на полеты с околосветовыми скоростями в анабиозе и другие прелести, столь красочно описанные в научной фантастике и показанные в многочисленных фильмах.

Как бы там ни было, несмотря на вполне вероятное негативное влияние последствий сближения со звездой Шольца на развитие земной цивилизации в прошлом, эта цивилизация, тем не менее, достигла уровня, при котором может уже не только отслеживать подобные события, но и встречать их во всеоружии, и даже пытаться извлечь из них какую-то пользу. ■

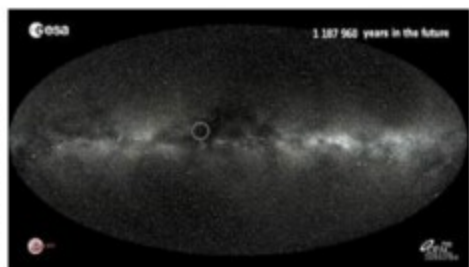


Звездные гости Солнца

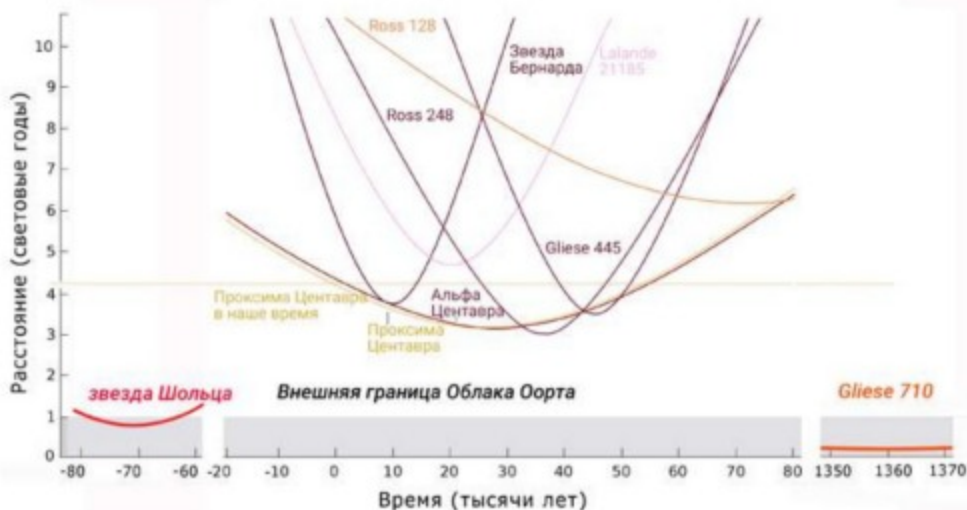
Звезды не являются статичными объектами, неподвижно висящими на одном и том же месте — они обращаются вокруг центра Галактики, подобно тому, как планеты обращаются вокруг своих светил. Поэтому расстояния между звездными системами постоянно меняются: они могут удаляться друг от друга, а могут и сближаться, порой проходя — конечно, по космическим меркам — «на расстоянии вытянутой руки».

Близкий пролет звезды Шольца 70 тыс. лет назад, о котором шла речь в статье, очевидно, был далеко не первым и явно не последним тесным «звездным контактом» в истории Солнечной системы. С учетом огромного количества «обитателей» Млечного Пути сделать точный прогноз по поводу времени следующего подобного пролета достаточно сложно. Однако об одном таком событии можно говорить с очень большой степенью уверенности. Оно связано со звездой Gliese 710.

Оранжевый карлик Gliese 710 спектрального класса K7 имеет массу около 0,6 солнечной, а его радиус на треть меньше соответствующего параметра нашего светила. Сейчас он находится на расстоянии 63,8 световых лет от Солнца, не входя даже в сотню ближайших звезд. Но в будущем ситуация радикально изменится: как показывают расчеты, через 1,3 млн лет этот объект станет самой близкой к нам звездой. Основной вопрос заключается в том, какова будет дистанция минимального сближения.



▲ Это видео, созданное на основании предварительных данных миссии Gaia, демонстрирует движение звезд на протяжении интервала времени от 1,1 до 1,5 млн лет в будущем, видимое из окрестностей Солнца. Кольцом отмечено начало трека звезды Gliese 710 перед ее максимальным сближением с Солнечной системой (сам трек далее показан белой кривой). Звездная карта изображает все небо в галактических координатах, то есть долготы на ней отсчитываются от направления на центр Млечного Пути, а широта — от его главной плоскости, для удобства расположенной горизонтально.



До недавних пор астрономы не располагали точными данными. Разные исследования говорили о том, что Gliese 710 пройдет на расстоянии 0,3-1,3 светового года. Ясность в этот вопрос помог внести европейский космический телескоп Gaia, сумевший поднять точность измерений параллаксов (а следовательно, и межзвездных расстояний), а также собственных и радиальных скоростей звезд Млечного Пути на недостижимую ранее высоту.

По данным специалистов ESA, минимальная дистанция до Gliese 710 составит от 10 тыс. до 32 тыс. а.е. с наиболее вероятным значением 16 тыс. а.е. (0,25 светового года). Благодаря этому она станет самой яркой звездой на земном небе — несмотря на то, что ее светимость в 22 раза меньше солнечной. Ее видимая звездная величина достигнет $-2,7^m$, что сравнимо с блеском Марса во время Великих противостояний.

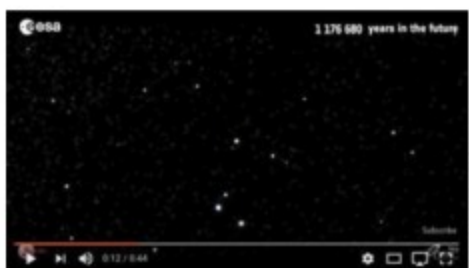
С учетом этой информации можно практически наверняка утверждать, что звезда пройдет через Облако Оорта и окажет влияние на орбиты его объектов. Нельзя забывать и об аналоге такого облака, окружающем саму Gliese 710. Не исключено, что какие-то из гравитационно связанных с ней ледяных тел могут пронестись через внутреннюю

▲ Все известные на данный момент сближения со звездами, ожидающие нас в ближайшие 80 тыс. лет. Ни одна из них не окажется менее чем в 2,5 световых годах от Солнца. Через 1 млн 360 тыс. лет звезда Gliese 710 подойдет к нам в десять раз ближе... а поскольку скорость ее движения относительно нашего светила велика, она будет находиться внутри Облака Оорта (на расстоянии менее светового года) на протяжении 340 тыс. лет и за это время, несомненно, произведет серьезные возмущения в движении множества кометных тел, принадлежащих Солнечной системе.

часть Солнечной системы. Впрочем, появившиеся во многих СМИ апокалиптические сценарии, согласно которым визит Gliese 710 «подарит» нашей планете ужасающую кометную бомбардировку, скорее всего, далеки от реальности.

Судя по всему, подобные сближения звезд являются достаточно обыденным явлением. Проанализировав данные Gaia о направлении собственного движения и лучевой скорости 300 тыс. объектов Млечного Пути, сотрудники Института астрофизики им. Макса Планка в Германии (Max-Planck-Institut für Astrophysik, Garching, BRD) установили, что в течение пяти минувших и пяти следующих миллионов лет 97 из них приближались или приблизятся к Солнцу менее чем на 15 световых лет, а 16 подошли или подойдут к нам ближе, чем на 6 световых лет.

На основании полученных данных для всех звезд (не ограничиваясь упомянутой выборкой) была сделана следующая оценка: в течение миллиона лет около 550 объектов проходят на расстоянии менее 15 световых лет от Солнца, из них порядка 20 сближаются с ним менее чем на три световых года. Таким образом, в среднем подобные тесные сближения происходят раз в 50 тыс. лет. Известно, что иногда на Земле происходят массовые вымирания биологических видов, но они случаются намного реже указанного периода. Из этих расчетов следует еще один вывод: за время, оставшееся до «визита» Gliese 710, Солнечная система будет иметь еще немало свиданий со «звездными гостями».



▲ Данная анимация показывает, как будет выглядеть участок неба размером $10 \times 5^\circ$ (для сравнения: видимый диаметр полной Луны примерно равен $0,5^\circ$) в окрестностях звезды Gliese 710 на протяжении следующих 2,5 млн лет, «сжатых» менее чем до минуты. Эта звезда в настоящее время движется почти прямо в направлении Солнца и через 1,36 млн лет пройдет от него на расстоянии около четверти светового года, или же 77 световых дней.

ДОГГЕРЛЕНД

«Атлантида» Северного моря

Михаил Видейко

доктор исторических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией археологии Киевского университета им. Гринченко



На Британских островах имеется немало удивительных сооружений, о строителях которых уже в древние времена сложили разные легенды. Среди них были рассказы о великанах, о могучих волшебниках, передвигавших огромные монолиты силой магических заклинаний, и прочих вполне реальных (с точки зрения людей ушедших эпох) явлениях и существах. Когда к делу объяснения этих загадок подключились люди, именовавшие себя учеными, они перебрали практически все известные им древние цивилизации, представители которых, по их

мнению, приложили руку к появлению загадочных сооружений — от Египта до Крита и Шумера. Попала в этот перечень, разумеется, и Атлантида, а во второй половине XX века — инопланетяне. В книжных магазинах несложно разыскать издания такого рода, наперебой предлагающие свою версию древней истории Британии и ее ближайших окрестностей. Все они иллюстрированы цветными фотографиями Стоунхенджа, запечатленного с высоты птичьего полета, каменных жилищ, раскопанных на Оркнейских островах, и даже картами путей, по которым древние мореплаватели бороздили моря много

тысяч лет тому назад.

Когда же решением этих проблем занялись археологи, выяснилось, что в древней истории Британии почти не осталось места не только для мудрых наставников из Египта или с Крита, но и для мудрецов Атлантиды, не говоря о представителях далеких звездных миров. Однако полученные ответы оказались не менее сенсационными, но при этом куда более убедительными. Во-первых, удалось узнать, что все это каменное великолепие уходит в прошлое в лучшем случае на пять-шесть тысячелетий, а в основном представляет времена бронзово-

го века — от четырех до пяти тысяч лет тому назад. В ту эпоху много где еще в Европе, в том числе и на территории Украины, строили всевозможные мегалитические сооружения. Между учеными шли горячие споры относительно прародины их первостроителей. При этом одни указывали на Кавказ, другие — на север Африки или прочие места. В любом случае, об Атлантиде речи не шло.

Но, тем не менее, сама природа подбрасывала обитателям Британских островов и севера Европы вполне однозначные намеки на то, что с затопленной сушей все же придется иметь дело. При отливах на побережье то тут, то там открывались многочисленные остатки древних лесов в виде пней и полуокаменевших стволов, уходивших в морские глубины. В некоторых местах отступившая вода обнажала остатки выложенных из камня построек, в них и рядом с ними находили орудия труда из кремня. Да, и местами эти «глубины морские» не были такими уж глубинами. Так что уже в начале XX века появилась теория относительно того, что, возможно, некогда Британские острова могли быть частью материка, однако позже уровень моря поднялся, и часть суши ушла под воду. Чем не место для Атлантиды?

Самое интересное началось, когда в Северном море приступили к разработке нефтяных и газовых месторождений. При монтаже платформ и бурении скважин нефтяники не раз наталкивались на



▲ Побережье Британии. Остатки древних лесов, уходящие на морское дно.



▲ В конце последнего ледникового периода нынешняя Великобритания представляла собой северо-западную оконечность континента, в значительной части покрытого льдом. Дальнейшее потепление привело к таянию льдов и открыло обширные прибрежные зоны для заселения. Позже подъем уровня Мирового океана

вызвал постепенное затопление этих земель. Примерно 8200 лет назад катастрофический прорыв воды из североамериканского озера спровоцировал донный оползень у берегов Норвегии, вызвавший мощное цунами, которое полностью уничтожило остатки «Доггерленда».

останки животных, причем не морских, а очень даже сухопутных. Образцов древней фауны набралось немало. Когда этими находками занялись специалисты, выяснилось, что речь идет о так называемой «мамонтовой фауне», то есть о животных, населявших равнины Европы в те далекие времена, когда ее северная часть была почти сплошь укрыта ледниками. Найденные на дне Северного моря черепа мамонтов с огромными бивнями теперь украшают экспозиции многих музеев. Таким образом, сомнения относительно существования в древние времена какой-то суши между Британией и Европой отпали. Сканирование морского дна в интересах нефтяных компаний позволило составить достаточно подробные карты затонувших земель. Оказалось, что там были долины, в этих долинах среди холмов, в летнее время покрытых зеленью, текли многочисленные реки и ручьи, а



▲ Поднятый со дна череп мамонта грузят на борт рыболовного судна в Северном море.

местами возвышались горы, вершины которых сегодня можно увидеть над серыми волнами моря как острова (в частности, Оркнейские).

Не только кости доисторических животных попадались искателям нефти — среди находок были и предметы, сделанные руками разумных существ. Самыми древними оказались рубила из кремня,

принадлежавшие неандертальцам. То есть первыми охотниками на мамонтов среди тундры Доггерленда (именно такое название получила затонувшая земля в честь известной еще со времен средневековья отмели Доггер¹ между Великобританией и Данией) стали именно они, предшественники современного человека на землях Европы.

Доггерленд, как выяснилось, был землей, свободной от многометровой толщи льда. Да, зимой здесь царили морозы, но рано или поздно наступала весна, вырастала зеленая трава... Здесь можно было жить круглый год, не уходя зимовать на теплый юг.

Однако даже больше, чем неандертальских рубил, было найдено наконечников стрел и прочего кремневого инвентаря, изготовленного уже руками кроманьонцев. Самыми узнаваемыми и важными находками оказались именно наконечники. Они рассказали о том, что новые обитатели долин и холмов Доггерленда владели эпохальным изобретением тех времен — луком. Это не только открыло им небывалые возможности для охоты на местную фауну (от оленей до песцов), но и давало преимущество в стычках с неандертальцами, если таковые случались. Для археологов же наконечники стрел стали своего рода «паспортом» — свидетельством принадлежности их владельцев к давно известным племенам древних охотников, живших «после по-



▲ На дне Северного моря было сделано множество удивительных находок доисторической эпохи, которые дают возможность получить представление о жизни обитателей обширных территорий, давно погруженных под воду — в частности, эти прекрасные костяные наконечники, хранящиеся в Национальном музее древностей в Лейдене (Нидерланды).



▲ Эта кирка с отверстием, сделанная из рога, была обнаружена вблизи Роттердама (Нидерланды).



▲ Куратор Национального музея древностей Люк Амкрюйтц (Luc Amkreutz) идентифицировал это кремневое орудие труда как трансшетовый топор эпохи мезолита — первая подобная находка в Северном море, относящаяся к 1988 г.

топа», чьи стоянки 10-12-тысячелетней давности к тому времени были уже достаточно хорошо изучены не только на континенте, но и в Британии — «на Острове». Дело в том, что в те времена каждое племя изготовляло свои, неповторимые наконечники, а мастерство и навыки передавались от отца к сыну. Таким образом, появлялась великолепная возможность «привязать» историю обитателей затонувшего Доггерленда к уже неплохо изученной европейской праистории.

Со дна Северного моря подняли наконечники стрел аренсбургской культуры. Ранее стоянки ее охотников были известны как на севере Европы, так и на Острове. Теперь стало понятно, каким образом «аренсбуржцы» туда попали — по суше, и произошло это около 12 тыс. лет тому назад.

А вот до Скандинавии они так и не добрались. И не потому, что Доггерленд отделял от нее глубокий пролив — находки на морском дне показали, что уже тогда охотники имели в своем распоряжении и лодки, и весла. Просто им нечего было делать среди ледников Севера: у них и без того имелась великолепная земля, где леса и равнины были богаты дичью, а реки — рыбой, причем достаточно крупной, чтобы бить ее гарпунами с наконечниками из кости (такие изделия также



▲ Реконструкция мезолитического дома по результатам раскопок в Ховике (Северная Англия).

найжены на дне моря).

Поселки аренсбуржцев, исследованные на побережье Европы и Острова, насчитывали от четырех до шести «вигвамов». До наших дней дошли круглые основания этих построек, выложенные из собранных неподалеку валунов. В них упирались жерди каркаса, который можно было покрыть корой деревьев и/или шкурами животных. Низ обычно присыпали землей — для утепления и чтобы меньше поддувало.

Земляные насыпи обрастали травой и мхом, так что постройки по весне сливались с зеленью окрестных холмов. В течение года обитатели такого поселка могли

¹ В переводе с голландского слово «dogger» буквально означает «ловить треску»



менять место проживания, перемещаясь вслед за стадами оленей, или ловить рыбу на побережье, где устраивали временные стоянки. Заготовив на зиму достаточно продовольствия, они встречали холода в местах, защищенных от жестоких северных ветров — вероятно, где-то у подножья гор.

Из года в год становилось теплее, ледники таяли. Огромные массы воды, аккумулированные некогда, на пике ледниковой эпохи, пополняли Мировой океан, уровень которого неумолимо поднимался. Этот процесс растянулся на тысячелетия, так что люди имели время и возможность покинуть затопляемые территории. Впрочем, не обошлось и без катастроф. Примерно 8200-8000 лет тому назад на ту часть Доггерленда, что еще не ушла под воду, обрушилась разрушительная волна цунами, возникшего вследствие грандиозного подводного оползня к западу от современного побережья Норвегии. По одной из версий, этот оползень вызвало землетрясение, сдвинувшее с места породы на морском дне. Объем гигантской волны оценивают в 3500 кубических километров, чего было вполне достаточно, чтобы по древней земле и побере-



жью северной части Европы прошелся многометровый вал воды. Вряд ли кто-то смог там уцелеть после такого удара стихии. Остатки Доггерленда около 7-6 тыс. лет тому назад окончательно превратились в острова и отмели, окрестности которых до сих пор являются важнейшими местами промысла рыбы, а в последние десятилетия — также добычи нефти и газа.

▲ 8 тыс. лет назад пресноводная рыба была основой меню охотников-собирателей Доггерленда. Голландские археологи сделали эти выводы в результате анализа изотопного состава доисторических фрагментов человеческих костей, поднятых со дна Северного моря (реконструкция).

▼ Около 8000 г. до н.э. группа охотников и собирателей, отступившая под ударами стихии вглубь Доггерленда, вернулась к месту своей стоянки и обнаружила, что она затоплена. В то время это произошло со многими прибрежными территориями, до наших дней остающимися на дне морском (реконструкция).



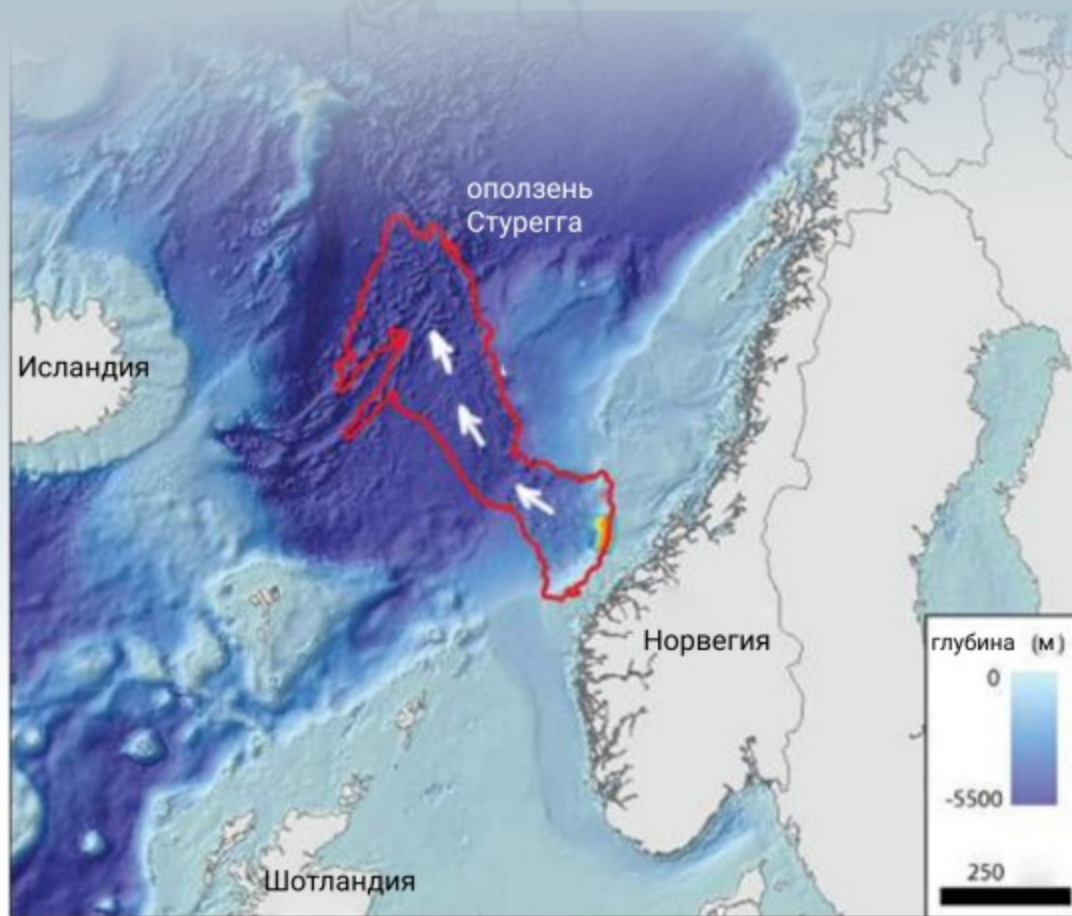
Гибель Доггерленда превратила Британию в Остров, а те охотники и рыболовы, которым повезло во время катастрофы оказаться на ее высоких берегах, стали его аборигенами, культура которых со временем начала заметно отличаться от материковой. Других островов над водами Северного моря в этом районе практически не осталось — уже упомянутый Оркнейский архипелаг лежит на его границе с Атлантическим океаном. Наверное, у множества племен по обе стороны нового водного пространства возникли и передавались из поколения в поколение легенды о затонувшей земле, но это явно была не известная нам легенда об Атлантиде. Ведь на дне моря не найдено ни величественных городов, ни гаваней для быстроходных кораблей — только каменные орудия и выложенные валунами основания круглых шалашей древних жителей Европы.

Однако недавно ученые получили интересную подсказку относительно того, как и когда на Острове могли появиться идея и навыки строительства монументальных сооружений из камня. Причем это событие имело место совсем не в те времена, когда Доггерленд еще был сушей, таким раем для охотников-рыболовов.

В последние два десятилетия развернуты масштабные исследования ДНК человека и домашних животных, при этом особый интерес молекулярные биологи проявляют к ископаемым образцам. Больше всего их в музейных запасниках, хранящих в себе немало любопытного. Чем древнее останки — тем интереснее. Дошла очередь и до останков «чеддарского человека» (находки, сделанной в ущелье Чеддар), обнаруженных еще в далеком 1890 г. в пещере Гофа в британском графстве Соммерсет. Впервые ДНК-тест скелета, возраст которого был определен в 9-10 тыс. лет, провели в 1996 г. Результат (гаплогруппа U5) свидетельствовал о том, что чеддарский человек вел свою родословную от охотников на мамонтов, заселивших Европу десятки тысяч лет тому назад. Кстати, он был темнокожим и голубоглазым. А вот спустя четыре-пять тысяч

Серия из трех древних оползней, известная ученым под названием Стурега (древнорв. Storegga, букв. «большая кромка»), относится к крупнейшим катастрофам в истории человечества. Она хронологически совпадает с глобальным похолоданием

6200 г. до н. э., что позволяет предположить взаимосвязь между этими событиями. Оползни произошли в период между 6200 и 6000 г. до н. э., охваченная ими зона (обведена красным контуром) простиралась в океан более чем на 800 км.



лет на Острове появились первые земледельцы, предки которых некогда обитали в Малой Азии (гаплогруппы T, J и так далее).

Карта распространения аренсбургской археологической культуры.



И именно в Малой Азии, причем еще со времен Доггерленда, известна традиция сооружения монументальных построек из камня. Речь идет о комплексе Гёбекли-Тепе в восточной Анатолии, который археологи изучают с 90-х годов XX века. Там были открыты многочисленные круглые постройки с каменными опорами (напоминающими камни Стоунхенджа), украшенными рельефами с изображениями различных живых существ, с каменными скамьями, как в поселении Скара-Брей на Оркнейских островах, и круглыми оградами. Их возраст оценивают в 9-11 тыс. лет. То есть с прототипами британских мегалитов были знакомы предки не охотников на мамонтов, а древних земледельцев, распространивших по Европе аграрные технологии (а заодно и традиции строительства храмов, и много чего еще). Ближайшие «локализованные версии» Гёбекли-Тепе, пусть и не столь грандиозные, находятся на юге Европы, на территории современной Греции — это широко известные поселения Сескло, Димини и другие. Их возраст не такой солидный, но тоже не так уж мал: порядка 9500-7000 лет.

Так вот, время появления на Острове и в его ближайших окрестностях грандиозных кругов из вкопанных глыб, построек на Скара-Брей как раз и совпадает с триумфальным распространением земледелия на северные окраины Европы около 6 тыс. лет тому назад — когда Доггерленд окончательно превратился в легенду об охотничье-рыбачком рае. Так что прототипы загадочных мегалитов Британии, скорее всего, следует искать не в Атлантиде, а в других местах. Но это вовсе не означает, что на дне морском больше нет достойных внимания следов древних людей. Их там должно быть немало, ведь известно достаточно мест, где во времена Доггерленда существовала суша, заселенная людьми. Это и Берингия — участок земли, соединявший Азию с Северной Америкой (полагают, что именно этим путем был заселен американский континент), и обширные площади шельфа Черного моря (история о «Черноморском Пото-

пе»), и участки морского побережья по всему миру, доступные в ту эпоху рыбакам и охотникам. Археологические исследования в таких местах пока только начинаются. О том, что скрыто под водой и толщей донных отложений, нам все еще известно крайне мало.

Однако активное освоение прибрежных акваторий в последние десятилетия должно кардинально изменить эту ситуацию, и мы уже в ближайшее время узнаем много нового о «допотопной» истории человечества. Она интересна сама по себе, но и осознание того факта, что морское дно в не столь уж древние времена становилось сушей (и наоборот), весьма актуально, если иметь в виду, что подобные трансформации ожидают его и в будущем. ■



▲ Современная реконструкция «чеддарского человека».



Стивен Хокинг

Последнее слово
о будущем



Немногие представители научного сообщества могут похвастаться тем, что стали легендой при жизни. К таковым, несомненно, следует отнести и британского астрофизика Стивена Хокинга (Stephen Hawking), который покинул этот мир 14 марта, на 77-м году жизни. «Он был великим ученым и выдающимся человеком, чьи работы и наследие будут жить многие годы», — говорится в сообщении его детей Люси, Роберта и Тима.

Человек

Образ самоотверженного ученого, чей могучий мозг, несмотря на физические ограничения, вызванные неизлечимой болезнью, постоянно занят интенсивной интеллектуальной деятельностью и одно за другим совершает эпохальные открытия, прочно вошел в массовую культуру. Стивену Хокингу даже пришлось сыграть самого себя в телесериалах «Звездный путь» и «Теория большого взрыва» — найти актера для исполнения такой роли оказалось действительно проблематично.

Однако мало кто будет спорить с тем, что в основном известность британского астрофизика связана с его деятельностью в области популяризации науки. Он и сам признавал, что должен быть благодарен Саймону Миттону (Simon Mitton) — редактору своей наиболее знаменитой книги «Краткая история времени», опубликованной в 1988 г. издательством Bantam Dell Publishing Group. В ней шла речь о рождении Вселенной, о природе пространства и времени, о черных дырах и теории суперструн... При этом на ее страницах содержит-

ся лишь одна формула « $E=mc^2$ »: даже наиболее сложные из затронутых тем удалось изложить исключительно доступным языком, без использования каких-либо математических выкладок.

Даже будучи прикованным к инвалидному креслу и потеряв голос после тяжелого воспаления легких, гениальный ученый продолжал вести активную жизнь. Он объездил почти весь мир, посетил множество конференций и научных семинаров, выступал с публичными лекциями, писал новые книги... В 1995 г. Хокинг развелся со сво-

▲ Несмотря на свою известность и вопреки физическим недостаткам, в повседневной жизни Стивен Хокинг старался быть «обычным человеком». Трое его детей, признавая все сложности, возникавшие в отношениях с отцом, вспоминают его, тем не менее, с теплотой и благодарностью. «Однажды он сказал: Вселенная значит не так уж и много, если в ней нет места людям, которых ты любишь. Нам всегда будет его не хватать» — говорится в их совместном письме по поводу смерти ученого.

ей первой женой Джейн Уайлд (Jane Wilde), с которой пребывал в браке более 30 лет, и женился на одной из медсестер, ухаживавших за ним — Илейн Мэйсон (Elaine Mason). Этот брак продержался 11 лет и также завершился разводом. После него ученый постарался наладить отношения с Джейн и детьми, что ему, в общем, удалось. И хотя Хокингу так и не присвоили Нобелевскую премию (самую престижную научную награду современности), его труды были отмечены многими другими наградами, в том числе Золотой медалью Королевского астрономического общества и медалью Поля Дирака. В 1988 г. ему совместно с Роджером Пенроузом (Roger Penrose) вручили престижную международную премию Вольфа.

Очевидно, что в смысле простого человеческого везения Стивен Хокинг тоже по-своему уникален. Ему повезло встретить хороших преподавателей и научных руководителей, вовремя разглядевших его таланты и способности. Повезло, что его болезнь обнаружили на ранней стадии и смогли на протяжении более чем полувека ее контролировать (вначале мало кто из врачей верил, что Хокинг доживет до 25 лет), что уровень развития электроники в конце XX века позволил создать устройства, сделавшие возможной коммуникацию ученого с внешним миром — первое время он использовал для управления компьютером остававшийся подвижным палец, а позже в качестве манипулятора выступала мышца щеки. Наконец, ему повезло родиться и жить в эпоху очередной научной революции, когда постоянно делались новые открытия, выдвигались новые гипотезы, появилось множество возможностей проверки теоретических предсказаний, сделанных ранее. Нынешний среднестатистический обыватель это не всегда осознает, но историки науки сравнивают наше время разве что со второй половиной XVII столетия, когда изобретение телескопа перевернуло представления о мире и положило начало современному позитивистскому мировоззрению.



Ученый и предсказатель

Стивен Хокинг занимался, пожалуй, наиболее фундаментальными проблемами астрофизики и космологии — квантовой гравитацией, черными дырами, вопросами возникновения и эволюции Вселенной. Одним из его первых важных теоретических открытий стало доказательство того, что черные дыры «умеют» не только безвозвратно поглощать материю и энергию: на самом деле они также могут постепенно терять массу, «испаряясь» за счет явления, получившего название излучения Хокинга. Позже это излучение попытались использовать для непосредственной регистрации таких объектов, но, к сожалению, пока безуспешно.

Были в жизни ученого и несбывшиеся прогнозы, и ошибки в предсказаниях. Пожалуй, его самым известным «промахом» стало публичное заявление о том, что бозон Хиггса никогда не будет обнаружен (существование этой частицы смогли экспериментально доказать в ходе экспериментов на Большом адронном коллайдере в 2011-2013 гг.). Тем не менее, сколь экстравагантными бы ни выглядели его взгляды и гипотезы, очевидно одно: идеи этого человека на десятилетия опередили свое время, и не прислушиваться к его мнению было бы весьма неосмотрительным.

▲ По мере того, как болезнь Хокинга прогрессировала, ему становилось все труднее самостоятельно заниматься научной работой. Последняя его капитальная монография вышла в 2005 г. и была посвящена вопросам сохранения информации в черных дырах.

Ближе к концу своей жизни Стивен Хокинг начал уделять большое внимание проблемам развития человечества и его возможного будущего. Одним из самых известных выступлений на эту тему стала его последняя публичная лекция на фестивале STARMUS, прочитанная в режиме скайп-конференции 20 июня 2017 г. В ней он описал две основные опасности, угрожающие земной цивилизации. Первая, по его мнению, обусловлена катастрофами, связанными с внешним (космическим) воздействием: сверхмощной солнечной вспышкой, падением крупного астероида или кометы, близким взрывом Сверхновой, сопровождающимся большими количествами высокоэнергетического излучения... Далеко не все из этих угроз мы способны предотвратить, а вероятность многих из них на длительных промежутках времени приближается к единице.

Второй тип опасностей может быть устранен, если человечество сумеет объединиться и приложить для этого должные усилия. Это, в первую очередь, проблемы перенаселения, истощения природных ресурсов (особенно такого важного, как питьевая вода) и климатических изменений, спровоцированных техногенным воз-

действием на природу. Сюда же следует добавить большую вероятность очередной мировой войны с использованием средств массового поражения. Хокинг считает, что для борьбы с этими угрозами пока что делается явно недостаточно.

Свою мысль ученый развил в короткометражном научно-популярном фильме, вышедшем незадолго до его смерти. Там он упомянул еще одну опасность, которой, по его мнению, сейчас уделяется слишком мало внимания — искусственный интеллект. Поскольку он развивается существенно быстрее, чем биологическая жизнь, в какой-то момент может оказаться под сомнением целесообразность самого существования человека. «Компьютеры обгонят человеческий разум до конца столетия, и когда это случится — нужно быть уверенным, что их цели совпадают с целями человечества», — заявил Хокинг. В 2015 г. совместно с основателями компаний Apple и SpaceX Стивом Возняком и Илоном Маском (Steve Wozniak, Elon Musk) он подписал открытое письмо, предостерегающее против разработки роботов-убийц.

К опасениям по поводу антропогенных изменений климата и глобального военного конфликта добавились искусственные бактерии и вирусы, создаваемые в лабораториях геной инженерии. Пока никто не может уверенно спрогнозировать

последствия случайного «выхода в большой мир» этих рукотворных созданий, а считать, что нынешние меры по их изоляции от внешней среды гарантируют нас от всех неожиданностей, было бы слишком самонадеянным.

В свое время Хокинг предсказал возможность возникновения вскоре после Большого Взрыва «сверхмалых» черных дыр микроскопических размеров, с тех пор свободно странствующих по Вселенной. Не исключено, что такие объекты в отдаленном будущем люди научатся создавать искусственно (в частности, благодаря прогрессу в теории струн) и активно их использовать, поскольку они представляют собой надежный и почти неисчерпаемый источник энергии. Но сможем ли мы впоследствии держать их под контролем? Не возьмутся ли такие черные дыры в один не самый прекрасный день «пожирать» нашу Землю?

Наконец, по мнению ученого, угроза способна прийти и «извне» — из-за пределов Солнечной системы. Нельзя полностью исключать существование во Вселенной иных разумных рас, помимо нашей. И хотя считается, что по мере развития интеллекта мыслящие существа приходят к пониманию ценности чужой жизни и важности сохранения биологического разнообразия (как в пределах одной планеты, так и в космических мас-

штабах), тем не менее, технология межзвездных перелетов может достаться цивилизации, еще не совсем преодолевшей внутренние проблемы — как человечеству досталась ядерная энергия до того, как нам удалось избавиться от социальных и религиозных противоречий. В результате наша раса впервые оказалась на грани самоуничтожения. Похожих последствий Хокинг ожидал и от контакта с чужим разумом...

Завещание великого мыслителя

Что же нужно делать человечеству, чтобы выжить перед лицом таких серьезных угроз? Ученый видел единственный ответ на этот вопрос — нам следует приложить максимум усилий для колонизации других планет и как можно быстрее стать космической расой, начав расселение по Солнечной системе (а в идеальном варианте — вырвавшись за ее пределы). Как говорил сам Хокинг, это вполне очевидно: когда в прошлом люди сталкивались с проблемой перенаселения, они отправлялись искать новые земли. Но теперь все они лежат за пределами нашей планеты.

«Нового Света больше не будет. За углом нас не ждет утопия. Нам не хватает пространства: единственное место, куда мы можем отправиться, не покидая планеты — это преисподняя. Пришло время расселяться по Солнечной системе. Возможно, это единственное, что может спасти нас от себя самих. Я абсолютно уверен, что человечеству необходимо покинуть Землю», — так рассуждал великий мыслитель в своем выступлении на фестивале STARMUS.

Первой и наиболее очевидной целью для колонизации, своеобразной «тренировочной площадкой» должна стать Луна, у полюсов которой уже практически доказано наличие залежей водяного льда — ценнейшего вещества, необходимого для создания



▲ По мнению Стивена Хокинга, человечество может погибнуть «от рук» искусственного интеллекта, вышедшего из-под контроля

постоянного поселения. Лунная колония будет базой для интенсивных исследований, в первую очередь касающихся длительного воздействия факторов открытого космоса и пониженной гравитации на человеческий организм. Следующим нашим шагом в глубины Вселенной станет, конечно же, Марс — он находится достаточно близко, а условия на его поверхности не слишком отличаются от земных (и в этом заключается его преимущество перед еще более близкой Венерой).

Параллельно мы должны вести поиски экзопланет, потенциально пригодных для жизни человека, и совершенствовать свои технологии, чтобы однажды получить возможность добраться до этих далеких миров. Это пожелание Хо-

▼ Этот снимок Стивена Хокинга был сделан в 2016 г. на презентации проекта Breakthrough Starshot, в рамках которого к ближайшей звезде должна быть отправлена флотилия «межзвездных парусников», несущих на себе компактное

кинг подтвердил своим участием в проекте Breakthrough Starshot по отправке флотилии автоматических микрозондов к ближайшей звезде — Проксиме Центавра — с помощью сверхмощного лазерного луча. В настоящее время данный проект считается одним из наиболее перспективных подобных предприятий с точки зрения реализуемости и теоретической обоснованности.

Но космическая экспансия человечества — не просто насущная необходимость, вызванная соображениями сохранения нашей расы. Это, говорил ученый, еще и его естественная потребность, диктуемая генетически заложенной в нас жадой познания и открытия иных миров. Вслед за поисками пригодных для жизни

исследовательское оборудование и разгоняемых с помощью сверхмощного лазерного луча. Поиски и исследования планет иных звезд ученый считал важным этапом неизбежной космической экспансии человечества.

планет и их исследованиями неизбежно наступит момент, когда на них ступит нога человека. «Естественное любопытство нашего вида — это именно то, что приведет нас к далеким мирам, — утверждал Стивен Хокинг. — В ближайшие сто лет мы отправимся в наше величайшее путешествие. Звезды — наша судьба».

Хотелось бы, чтобы это его предвидение не оказалось ошибочным.

▼ Последнее предупреждение Хокинга



Stephen Hawking 16:04

Человечеству необходимо как можно быстрее начать колонизацию других планет. Только так мы можем защитить нашу расу от полного вымирания.





Одним из главных событий прошедшего в городе Остин — столице штата Техас — фестиваля South by Southwest (SXSW) стало выступление руководителя компании SpaceX Илона Маска. Началось оно с короткого, но весьма вдохновляющего ролика, посвященного успешному запуску ракеты Falcon Heavy. Видео было подготовлено Джонатаном Ноланом (Jonathan Nolan) — братом всемирного известного режиссера Кристофера Нолана, соавтором сценариев многих фильмов последнего, а также ведущим популярного сериала «Мир Дикого Запада».

Далее Маск поделился с публикой своими размышлениями о перспективах выживания нашей цивилизации. По его словам, существует множество факторов, угрожающих ее существованию — начиная от вероятного падения на Землю крупного астероида до последствий глобального потепления. Но все же главную опасность для человечества представляют сами люди и их патологическая неспособность ужиться друг с другом.

Только за последние сто лет наша планета пережила две мировые войны. Крайне маловероятно, считает Маск, что люди больше никогда не устроят глобального конфликта. Глава SpaceX не собирается делать прогнозы по поводу возможной даты начала Третьей мировой. Но, исходя из истории человечества, он практически на 100% убежден, что рано или поздно подобный конфликт случится, и он вполне может привести к наступлению на Земле новых темных веков.

Маск хочет быть уверенным в том, что даже при

самом пессимистичном сценарии у человеческой цивилизации останется шанс на возрождение. Такую возможность должны обеспечить космические поселения. Они смогут стать для нас чем-то вроде современного Ноева ковчега: «В случае начала Третьей мировой мы должны сохранить часть людей, чтобы они помогли возродить цивилизацию и сократить продолжительность темных времен. Именно поэтому... важно иметь находящееся на самообеспечении [внеземное] поселение. В идеале — на Марсе, потому что Марс достаточно далек от Земли и вероятность того, что в случае войны марсианская база выживет, больше, чем для базы на Луне».

Предприниматель особо подчеркнул, что Красная планета не станет «спасательной шлюпкой» исключительно для богатей. Ее колонизация будет скорее похожа на антарктические экспедиции начала прошлого века. Маск охарактеризовал ее следующим образом: «Тяжело, крайне опасно, велика вероятность того, что вы погибнете. Но те, кто выживут, будут в восторге».

В настоящее время SpaceX ведет активные работы над сверхтяжелым носителем BFR, предназначенным для пилотируемых миссий к Луне и Марсу. Недавно компания арендовала участок в порту Лос-Анджелеса, где будет осуществляться сборка огромной ракеты. В следующем году должны начаться тесты прототипа межпланетного корабля. Речь идет о полетах, аналогичных проекту Grasshopper. Такое название носил летающий стенд SpaceX, на котором отрабатывались технологии посадки первой ступени Falcon 9. Он совершал непродолжительные полеты на высоту до километра.

Также во время своего выступления Илон Маск в очередной раз поделился опасениями по поводу бесконтрольных разработок в области искусственного интеллекта, потенциально представляющего для нас даже более серьезную угрозу, нежели все ядерные боеголовки. По словам миллиардера, создание полноценного ИИ может привести к появлению бессмертного диктатора, не связанного человеческими ценностями и представлениями о морали. Поэтому он еще раз призвал ученых проявлять большую осторожность в этой области. Основатель SpaceX даже профинансировал создание документального фильма «Доверяете ли вы этому компьютеру», описывающего как возможные преимущества, так и опасности искусственного разума.

Таким представляется художнику начало колонизации Марса



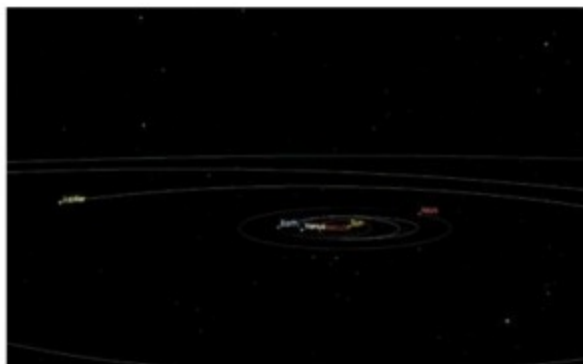
Оумуамуа:

комета, астероид
или межзвездный
корабль?



19 октября прошлого года телескоп PanSTARRS 1, установленный на острове Мауи (Гавайский архипелаг), уловил свет от небольшого объекта, находившегося на расстоянии 30 млн км от Земли. Это событие стало сенсацией, когда астрономы вычислили орбиту нового небесного тела: оказалось, что оно прибыло к нам из другой звездной системы.

Ожидалось, что «межзвездный гость» должен представлять собой комету. Однако наблюдения не выявили у него никаких признаков кометной активности. Поскольку речь шла о первом открытом теле нового класса, Международный астрономический союз принял решение создать для него специальную серию обозначений. Объект получил индекс 1I и собственное имя «Оумуамуа» (Oumuamua). Позже выяснилось, что он имеет весьма вытянутую форму (его длина предположительно составляет 160 м, ширина — 30 м; по другим оценкам — 400×40 м) и хаотическое вращение, вероятно, приобретенные в результате столкновения с другим объектом в своей родительской системе, которое и выбросило его в межзвездное пространство.



Траектория Оумуамуа в окрестностях Солнца.

Происхождение Оумуамуа до сих пор остается загадкой. По этому поводу выдвинуто несколько различных предположений. Он мог быть выкинут гравитационными возмущениями из протопланетного облака, окружающего одну из молодых звезд ассоциации Киль-Голубь, или даже из окрестностей белого карлика. Недавно группа канадских астрономов предложила еще одну версию. Исследователей удивило, что первый обнаруженный «межзвездный гость» является именно астероидом, а не кометой: как известно, из Солнечной системы выбрасывается в окружающее пространство куда больше комет, чем каменных объектов. Чтобы разрешить это противоречие, ученые построили модель, которая продемонстрировала, что скалистые тела, подобные

Оумуамуа, с намного большей вероятностью происходят из окрестностей двойных звезд, чем одиночных (таких, как наше Солнце). Расчеты подтверждают, что бинарные системы «изгоняют» примерно одинаковое количество каменных и ледяных тел.

Дальнейший анализ показал, что Оумуамуа, по-видимому, прибыл к нам из молодой двойной системы, причем один из ее компонентов — сравнительно горячая массивная звезда. Такая пара должна быть окружена большим количеством каменных объектов. По мнению ученых, скорее всего, астероид был выброшен на стадии формирования планет.

Когда появились изображения «пришельца», выполненные художниками, многие любители фантастики отметили сходство между ним и инопланетным кораблем «Рама» из знаменитого романа Артура Кларка. Нечто общее у них действительно есть — например, траектория и необычная вытянутая форма. Из профессиональных астрономов, разумеется, никто всерьез не надеялся, что первый же найденный межзвездный астероид окажется замаскированным космическим аппаратом. На самом деле визиты в Солнечную систему объектов вроде Оумуамуа должны быть достаточно рутинным событием. По некоторым оценкам, внутри орбиты Нептуна находятся тысячи тел, прилетевших из других звездных систем, просто в силу своих небольших размеров до недавних пор они ускользали от нашего внимания.

Тем не менее, астрономы не стали упускать возможность провести исследования Оумуамуа в радиодиапазоне. Сотрудники инициативы Breakthrough Listen «прослушали» его с помощью радиотелескопа Грин-Бэнкс, попытавшись уловить сигналы в диапазоне от 1 до 12 ГГц. Другая группа ученых использовала для зондирования астероида массив антенн MWA. Наблюдения велись на частотах от 72 до 102 МГц (ультракороткие волны) в период с ноября 2017 г. по начало 2018 г., когда расстояние между объектом и Землей составляло от 95 до 590 млн км.

Вполне предсказуемо никаких искусственных сигналов от «межзвездного странника» зарегистрировать не удалось. Несмотря на необычную форму и происхождение, по своим спектральным характеристикам он напоминает самые обычные астероиды классов D и P. Впрочем, нельзя забывать, что отрицательный результат в науке — тоже результат. Не исключено, что опыт, полученный в ходе наблюдений и «прослушивания» Оумуамуа, пригодится астрономам в будущем — при обнаружении новых «посланцев» из других звездных систем.

Proxima b

планета беспокойной звезды

Игнаси Ривас

Институт космических наук,
Барселона (Испания)

The habitability of Proxima Centauri b Ignasi Ribas

Institut d'Estudis Espacials (IEEC-CSIC),
Barcelona, España

Доклад прочитан 7 декабря 2017 г. на 51-м
симпозиуме ESLAB (Нордвейк, Голландия)

Перевод: **Владимир Манько**
Редактор перевода: **Сергей Гордиенко**



Игнаси Ривас (Ignasi Ribas)

Научный сотрудник Института космических наук Каталонии в Барселоне (Institut d'Estudis Espacials de Catalunya – IEEC), член Высшего совета по научным исследованиям (Consejo Superior de Investigaciones Científicas – CSIC). Степень бакалавра получил в Университете Барселоны, там же защитил диссертацию доктора философии по физике, после чего полтора года стажировался в Университете Вилланова (Villanova University) в штате Пенсильвания. В 2010 г. назначен директором астрономической обсерватории Монтсек (Observatorio Montsec IEEC), в том же году начал работу в IEEC, с 2012 г. занимает должность заместителя директора этого научного учреждения. В 2012–2015 гг. являлся президентом отделения звезд и звездной физики Международного астрономического союза. Член рабочей группы по астрономии Европейского космического агентства. Участник команд миссий CHEOPS, PLATO и ARIEL, отвечающих за их инструментарий и координацию с наземными телескопами.

Научные интересы Игнаси Риваса включают в себя изучение звездных недр путем прецизионных наблюдений затменных двойных систем (в том числе конвективных потоков в массивных звездах и влияния магнитного поля на процессы в красных и оранжевых карликах), а также использование звезд этого типа для уточнения межгалактических расстояний. Второе направление исследований – последствия взаимодействия экзопланет с высокоэнергетическим излучением и потоками заряженных частиц, испускаемых их родительскими светилами, как часть динамической эволюции планетных систем.

На этом симпозиуме уже несколько раз шла речь о планете Proxima b — спутнике Проксимы Центавра, ближайшей к Солнцу звезды. Сейчас я собираюсь немного углубиться в эту тему и поговорить о свойствах этой планеты, чтобы ответить на вопрос, может ли она быть обитаемой.

Как вы, надеюсь, помните, планета у Проксимы Центавра была открыта в августе 2016 г. в рамках проекта Pale Red Dot («Слабая красная точка»),¹ осуществляемого Гийемом Англада-Эскудэ (Guillem Anglada-Escudé) и его сотрудниками. Они использовали сверхточный инструмент для измерения лучевых скоростей и обнаружили колебания спектра Проксимы с периодом 11,2 суток, вызываемые объектом с массой не менее 1,27 земной. Конечно, с подобными открытиями связано немало ожиданий и надежд, но необходимо отметить, что при наблюдениях такого рода мы получаем очень мало информации об экзопланете — фактически сейчас мы знаем только ее орбитальный период (уточненная продолжительность 11,186 суток), значение вызываемого ее гравитационным воздействием доплеровского сдвига линий в спектре звезды и максимально возможный эксцентриситет орбиты. Из этого мы можем вычислить ее среднее расстояние до центральной звезды и минимальную массу. На самом деле при достаточно большом угле наклона плоскости орбиты к направлению на наблюдателя этот объект может быть в 2-3 раза тяжелее Земли. Поэтому еще раз прошу учесть, что все дальнейшие выводы касательно условий на планете сделаны из этих скудных сведений, и в дальнейшем они могут быть серьезно пересмотрены по мере уточнения имеющихся данных.

Итак, Proxima b заняла свое место в «клубе потенциально обитаемых планет», причем среди них

Потенциально обитаемые экзопланеты

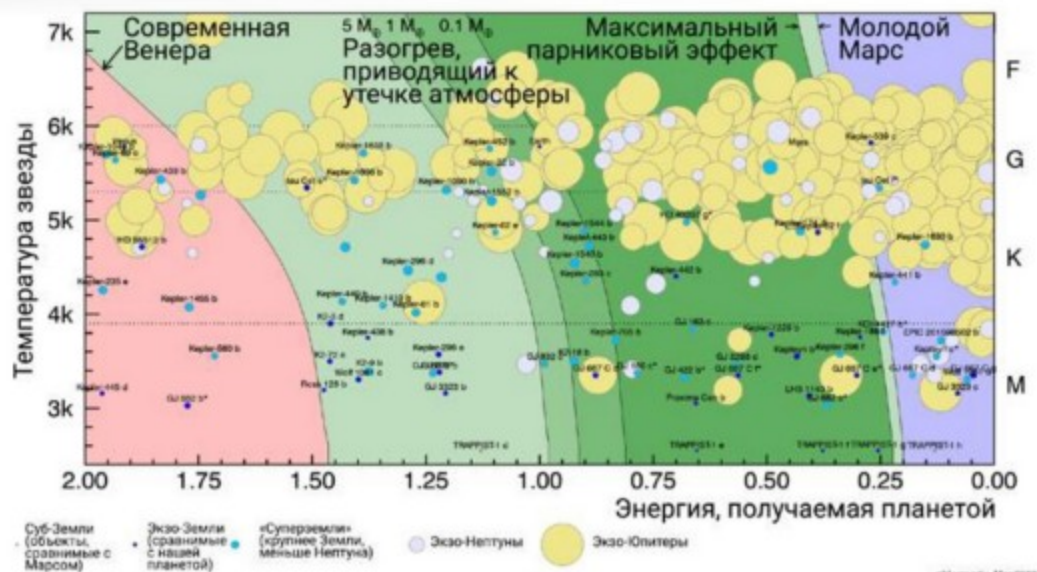
Объекты расположены по мере уменьшения «индекса похожести на Землю» (ESI)



PHL @ UPR Arecibo (phl.upr.edu) Nov 15, 2017

▲ Потенциально пригодные для жизни экзопланеты, открытые к настоящему времени и расположенные в порядке от наиболее до наименее благоприятных условий. Вид их поверхности показан ориентировочно. Сравнение производилось с помощью так называемого «индекса похожести на Землю» (Earth Similarity Index — ESI), который вычисляется на основании размера объекта

и потока излучения от центральной звезды в районе его орбиты. У планет, максимально похожих на нашу, ESI близок к единице. Однако это не означает, что вероятность существования жизни там должна быть высокой — на самом деле она зависит от многих других пока неизвестных факторов. Справа в том же масштабе показаны Земля, Марс, Юпитер и Нептун.



¹ «Слабая красная точка» (Pale Red Dot) — международный проект, в рамках которого ведутся поиски землеподобных экзопланет у ближайших к нам звезд, главным образом красных карликов наподобие Проксимы Центавра. В нем задействован спектрограф HARPS, установленный на 3,6-метровом рефлекторе обсерватории Ла Силья (подразделение Европейской Южной обсерватории), глобальная сеть телескопов обсерватории Лас Кумбрес (LCOGT), а также система наблюдений вспышек и транзиентов BOOTES.

▲ На этой диаграмме показаны все известные экзопланеты, обращающиеся в зоне обитаемости либо вблизи нее (консервативные оценки размеров зоны нанесены темно-зеленым цветом, оптимистичные — светло-зеленым). Подписаны только объекты, имеющие массу менее 10 земных или радиус менее 2,5 земного. Звездочкой отмечены неподтвержденные объекты.

Величина кружка соответствует размеру экзопланеты (измеренному по падению блеска во время транзита либо оцененному из соотношения «масса-радиус»). Коричневые, синие и голубые точки обозначают «суб-земли», «земли» и «супер-земли»; пока в зоне обитаемости открыто всего два десятка планет этих типов.

она закономерно оказалась самой близкой к Солнечной системе: от нее нас отделяет 4,2 световых года.² Вдобавок, исходя из консервативных оценок того, что мы называем «зоной обитаемости», эта планета, пожалуй, более других напоминает Землю — по размерам, температуре у поверхности и т.д. Если рассматривать принятые границы зоны обитаемости для звезд различных спектральных классов и расположить все подтвержденные экзопланеты в координатах «температура звезды — поток энергии», становится очевидным, что Proxima b находится в области почти оптимальных условий. Однако нужно учитывать, что она обращается вокруг сравнительно холодного (порядка 3000 К) красного карлика, в 8 раз менее массивного, чем Солнце.

Штатный художник ESA изобразил планету Proxima b необитаемой, без океанов, рек и почти без атмосферы, но я думаю, что эта картина не совсем соответствует действительности, и нам следует быть более оптимистичными. На самом деле мы, конечно, не имеем прямого ответа на вопрос, пригодна ли она для жизни — это сложная проблема, зависящая от множества факторов и включающая в себя много неизвестных. В своих исследованиях мы воспользова-

лись наиболее свежими данными, чтобы постараться приблизиться к ее решению. В первую очередь нам необходимо учесть следующие факторы: сколько на планете исходно было воды, сколько летучих веществ (главным образом той же воды) было потеряно ею и теряется сейчас благодаря высокоэнергетическому излучению центрального светила, имеется ли у нее магнитное поле, и какую роль играет приливное воздействие в планетной эволюции.

Что же можно сказать по каждой из этих позиций? Исходное количество воды мы определить не можем. Исходя из оценок ее содержания во влажных планете-

зималях («строительных блоках», из которых шло формирование планет), при использовании существующих моделей планетообразования получается, что Proxima b должна быть более сухой, чем Земля. Но это верно лишь в том случае, если она вращается синхронно, то есть постоянно обращена к своей звезде одной стороной, во втором — оказывается в резонансе 3:2 с орбитальным вращением, совершая три оборота вокруг оси на протяжении двух орбитальных периодов. Это, в свою очередь, зависит от вытянутости планеты (отличия ее формы от сферической) и эксцентриситета

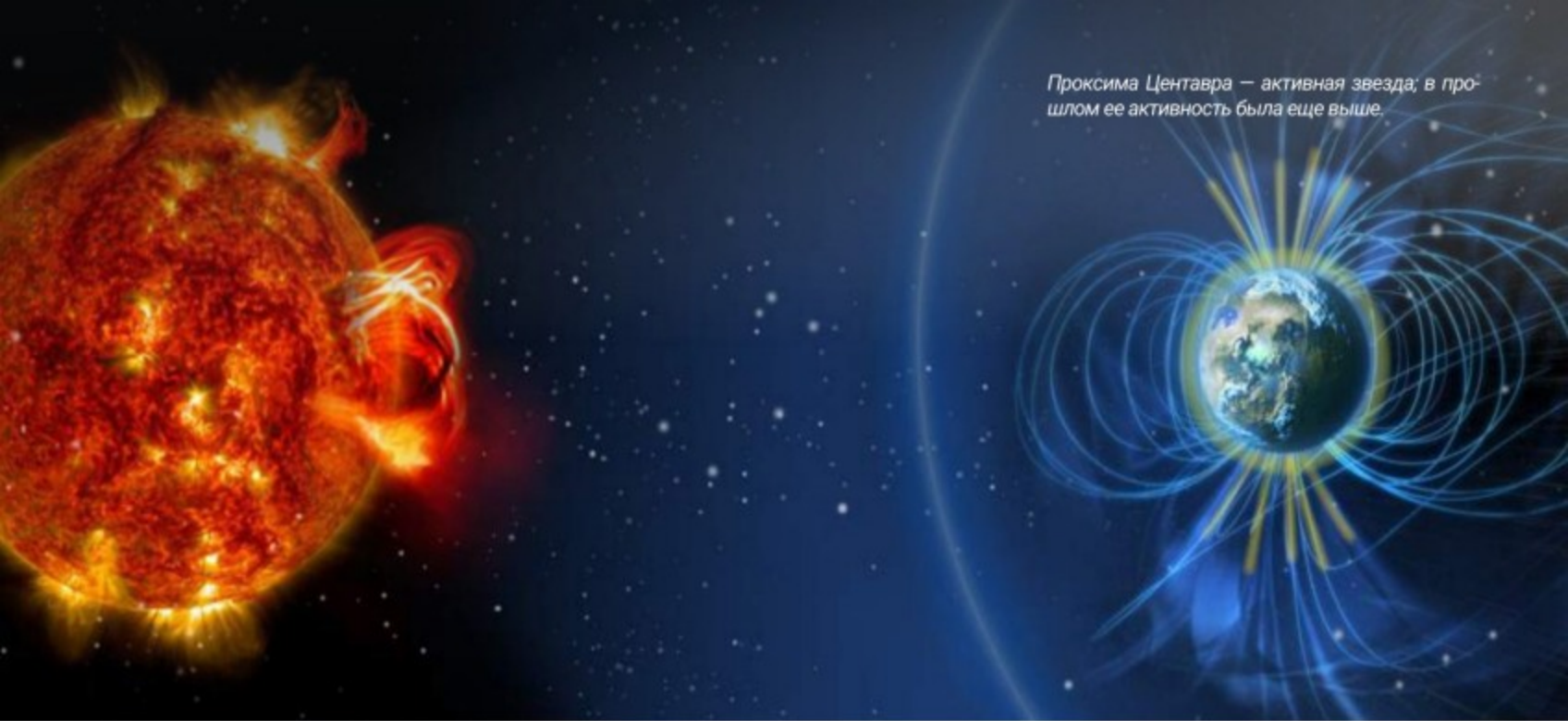
- Исходное содержание воды (неизвестно)
- Доставка воды влажными планетезималями
- Proxima b — более сухая, чем Земля (если сформировалась на нынешней орбите)
- Возможно формирование в более удаленных областях с последующей миграцией
- Пока мы можем констатировать широкий набор начальных условий



Такой художник ESA видит поверхность планеты Proxima b, обращающейся вокруг красного карлика Проксимы Центавра — ближайшей к Солнцу звезды. Правее и выше Проксимы на небе видна двойная система α Центавра АВ.

² Это расстояние в настоящее время уменьшается и достигнет минимума примерно через 27 тыс. лет, когда Проксима Центавра подойдет к нам менее чем на 3 световых года (прим. переводчика)





Проксима Центавра — активная звезда; в прошлом ее активность была еще выше.

ее орбиты. Чем больше значения этих параметров — тем более вероятен «резонансный» сценарий. Интересно, что при нем солнечные сутки будут вдвое дольше планетного года.³

Проксима Центавра — очень активная звезда, в относительных значениях существенно более активная, чем Солнце. Она всегда была такой, причем в прошлом ее активность по многим признакам могла быть даже выше. На расстоянии, равном среднему радиусу орбиты планеты Proxima b, на квадратный метр поверхности, перпендикулярной к направлению на звезду, падает $64 \pm 3\%$ лучистой энергии, поступающей от нашего светила на такой же квадратный метр за границей земной атмосферы (так называемая солнечная постоянная). Основная часть этого излучения приходится на красную часть видимого спектра и прилегающий к ней ближний инфракрасный диапазон. Известно, что Земля получает в 20 раз больше важных с точки зрения развития жизни низкоэнергетических ультрафиолетовых лучей. Зато опасное высокоэнергетическое ультрафиолетовое излучение в районе орбиты Proxima b оказывается в несколько десятков раз мощнее! Но это еще не самое неприятное.

Общая мощность излучения Проксимы Центавра может меняться в широких пределах, сильно возрастая во время вспышек, случающихся не так уж и редко. Значительные изменения связаны также с вращением звезды вокруг оси — как мы уже знаем, его период равен 86 суткам — и с циклами ее активности, основной из которых длится примерно 7 земных лет. Опять же, в общем потоке излучения эти колебания не слишком заметны (до 15% — при вспышках, порядка процента — в результате вращения и вариаций активности), но если взять отдельно дальний ультрафиолетовый диапазон, там они оказываются весьма существенными.

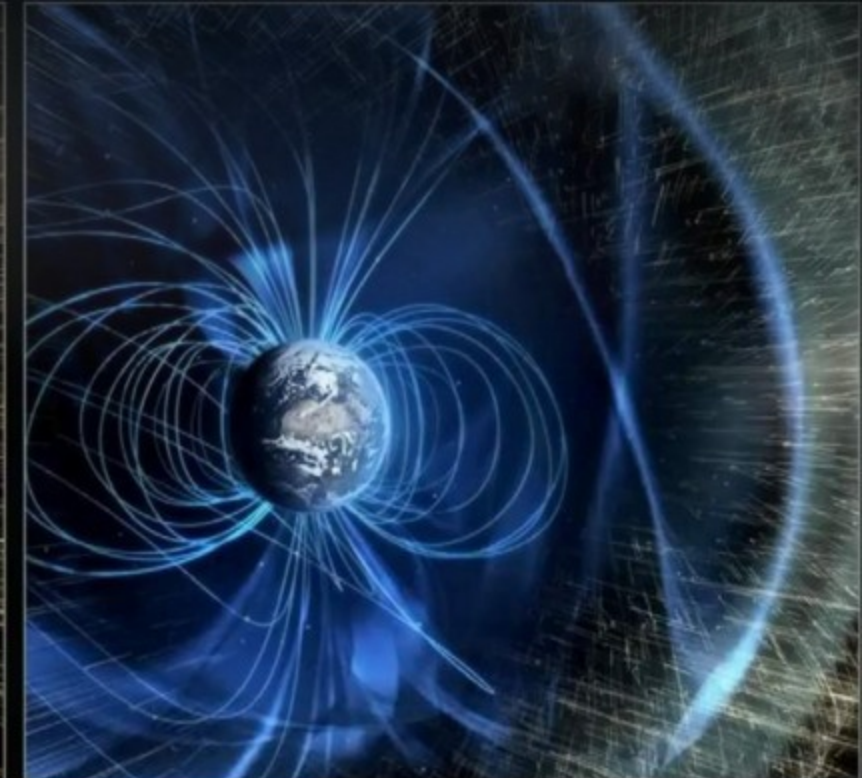
Имея информацию о свойствах центральной звезды, мы можем оценить, насколько интенсивно ее планеты теряют атмосферу. Правда, тут необходимо знать еще один важный параметр — напряженность планетного магнитного поля (а о нем мы пока ничего не знаем). В некоторых работах этот параметр принимается равным земному, в некоторых — немного меньше. Так или иначе, оценки плотности вещества звездного ветра на орбите Proxima b говорят о том, что она должна быть на 2-3 порядка больше, чем в окрестностях Земли, а его давление — примерно в 2 тыс. раз выше. При таких условиях, чтобы избежать больших потерь летучих веществ, небесное тело должно иметь в сотни раз более мощное магнитное поле, чем

наша планета, и даже тогда потери будут очень высокими.

Вот так обстоят дела в наше время... а в прошлом они были еще хуже. Мы уже знаем, что раньше Солнце было более активным и Земля получала от него больше высокоэнергетического излучения. Но то же самое справедливо в отношении Проксимы Центавра и ее спутника (если основываться на современных эволюционных моделях звезд главной последовательности). Если бы Proxima b на ранних стадиях эволюции находилась в районе нынешней зоны обитаемости своего светила, она получала бы от него огромные количества энергии. Это общеизвестный факт для всех типов звезд. Причем планета была бы уже полностью сформированной в то время, когда центральная звезда еще продолжала сжиматься и разогреваться, то есть она провела бы некоторое время — возможно, несколько миллионов лет — ВНУТРИ зоны обитаемости, где вся ее вода находилась бы в газообразном состоянии. В этих условиях потери летучих веществ оказались бы особенно велики. Как видите, историю планеты ближайшей звезды тоже нельзя назвать счастливой...

Если мы попытаемся оценить, как в прошлом менялся уровень высокоэнергетического излучения, которое получала Proxima b, то выяснится, что он, вероятнее всего, также был выше современ-

³ В Солнечной системе именно в таком резонансе с орбитальным движением вращается Меркурий — ближайшая к Солнцу планета (прим. перев.)



▲ На ранних этапах своей эволюции Марс имел магнитное поле, подобное земному, которое предохраняло его атмосферу от «сдувания» солнечным ветром. Возможно, это справедливо и в отношении экзопланеты Proxima b, однако она изначально находилась в более неблагоприятных условиях. Общий объем летучих веществ (в первую очередь воды), потерянный этой планетой за время ее существования, оценивается в 0,5-2 объема земных океанов.

ного. Об этих аспектах эволюции красных карликов пока известно мало, но даже самые консервативные оценки говорят о превышении как минимум в 10 раз. Общее же количество жесткого ультрафиолета, полученного ближайшей экзопланетой за всю ее историю, оказывается в 8-25 раз большим, чем в случае Земли.

Подводя итоги, можно сказать, что космическое окружение Proxima b на ранних стадиях ее эволюции было намного более враждебным, чем у нашей планеты. Более того: из-за особенностей своей звезды она испытывала такие внешние воздействия, которые никогда не имели места в случае Земли. Например, она потеряла огромное количество летучих веществ (в первую очередь — воды), по суммарному объему эквивалентное от половины до двух объемов земных океанов. Однако, поскольку мы не знаем, сколько воды там было изначально, из этого нельзя сделать вывод, будто это тело в наши дни совершенно лишено влаги.

Расчеты, выполненные в рамках различных моделей с разными наборами начальных условий, показывают весьма значительные потери летучих веществ за время существования планеты — от 15 до 25 земных океанов. Однако после того, как она оказалась в пределах

зоны обитаемости, ее эволюция, как ни странно, не становится более определенной (в ней по-прежнему задействовано слишком много трудноучитываемых факторов), и нельзя сказать, продолжалась ли потеря воды теми же темпами. Во всяком случае, в Солнечной системе есть примеры прогрессирующего «высыхания» уже в нашу эпоху. Когда молекулы воды покидают атмосферу под действием светового давления, часть из них расщепляется ультрафиолетовым излучением на кислород и водород. Последний преимущественно улетучивается, а первый — остается в газовой оболочке в виде так называемого «абиогенного кислорода», не связанного с деятельностью живых организмов, что существенно усложняет поиски возможной жизни на ближайшей экзопланете.

В публикации профессора Университета Вашингтона Рори Барнса⁴ (Rory Barnes, University of Washington, Seattle) исследованы пути эволюции Proxima b, исходя из различных начальных параметров, разных количеств воды, водорода и т.д. На приведенных в ней диаграммах голубая часть соответствует пригодным для жизни условиям, определяемым, в част-

ности, эффективностью «утечки» кислорода. Главный вывод исследователей — несмотря на то, что эта планета почти постоянно находилась под жестким воздействием извне, она, тем не менее, при определенных исходных данных и эволюционных сценариях вполне может быть обитаемой в наше время, то есть считаться перспективным кандидатом с точки зрения экзобиологии. Конечно, весьма вероятно, что все водоемы на ее поверхности давно уже исчезли, но нельзя исключать и того, что изначально воды там присутствовало очень много, а излучение звезды все-таки было не столь интенсивным, чтобы всю ее испарить.

Переходя к рассмотрению вопроса о возможных современных климатических условиях на Proxima b, еще раз повторю, что существует немало моделей, допускающих наличие на ее поверхности жидкой воды. Однако они сильно зависят от атмосферного давления и концентрации углекислого газа. Компьютерная симуляция для синхронного вращения дает «классическое» стабильное распределение приповерхностных температур с максимумом в точке, где центральная звезда постоянно видна в зените. Возможно даже, что вся планета будет покрыта льдом,

⁴ <https://palereddot.org/opportunities-and-obstacles-for-life-on-proxima-b/>

Дополнительные сложности для жизни

Согласно данным о содержании тяжелых химических элементов в различных областях Млечного Пути, звезда α Центавра (вместе с Проксимой Центавра) сформировалась примерно на 10 тыс. световых лет ближе к галактическому центру, чем Солнце и Земля, которые движутся по достаточно стабильной почти круговой орбите, показанной здесь голубым кольцом.

Область формирования Проксимы Центавра

Область формирования Солнца

Нынешнее положение Солнца и Проксимы Центавра

Профессор Университета штата Вашингтон Рори Барнс и группа американских астрономов исследовали различные аспекты эволюции Проксимы Центавра и выяснили, что она содержит слишком много тяжелых элементов. Наиболее логичное объяснение этого избытка таково: звезда сформировалась не в той области Галактики, где находится сейчас (в 25-26 тыс. световых лет от галактического центра), а значительно ближе к ее центральным областям, где интенсивность процессов звездообразования заметно выше. Поиски основного «места обитания» красных карликов близкого состава указывают на кольцеобразную зону радиусом порядка 15 тыс. световых лет. За 5 млрд лет, прошедших с момента рождения, Проксима проделала долгий и опасный путь по просторам Млечного Пути. Дело в том, что эта зона (показана оранжевым) находится далеко от зоны коротации, где родилось наше светило, и, следовательно, за время своей жизни звезда вместе со своей планетой значительно чаще пересекала галактические рукава, т.е. «беспокойные» области повышенной плотности, в которых содержится намного больше звезд и пыли, звездообразование протекает заметно активнее, а значит — там чаще происходят взрывы сверхновых, излучение которых способно стерилизовать поверхности окрестных планет.

исключая небольшой участок в окрестностях этой точки. В случае резонанса 3:2 мы имеем длинные сутки, но все равно температурные максимумы должны смещаться вдоль экватора, а самые холодные участки окажутся на полюсах, где можно ожидать наличия полярных шапок.

Вдобавок мы проанализировали биологические аспекты Proxima b, которые я тоже хочу представить. Первым такое исследование предложил Рей Ричи (Ray Ritchie), взявшийся изучать возможность фотосинтеза на ее поверхности. Наша совместная работа была отправлена для публикации в International Journal of Astrobiology. В ней говорится о том, что эта планета — весьма неблагоприятное место для водного аноксигенного фотосинтеза земного типа, в основном из-за того, что значительная часть

излучения Проксимы Центавра приходится на ближний инфракрасный диапазон, сильно поглощаемый водой. Когда вы погружаетесь в глубины океана, количество энергии, необходимой для процессов фотосинтеза, падает очень быстро, а на спутниках красных карликов уже на глубине нескольких метров ее почти не остается (в земных водоемах такой уровень излучения присутствует на глубинах 30-70 м, в зависимости от прозрачности воды). Но это не исключает того, что Proxima b является пристанищем биосферы какого-то особого типа — например, анаэробных бактерий или микроорганизмов, использующих в своей жизнедеятельности уже упомянутый абиогенный кислород. Сам Рей Ричи назвал ее «довольно скучным и неприятным местом для жизни». Однако, возможно, если



▲ Если Proxima b расположена у внешней границы зоны обитаемости, вращается синхронно (то есть постоянно повернута к своей звезде одной стороной) и полностью покрыта океаном, ее поверхность, вероятнее всего, будет представлять собой сплошной ледяной панцирь — кроме окрестностей точки, где центральная звезда постоянно видна в зените. Такой вид планеты получен в результате компьютерной симуляции.

мы найдем способ увидеть эту планету непосредственно, нас будет ожидать сюрприз.

А шансов ее увидеть не так уж мало. Расчеты показывают, что контрастность отраженного ею света делает ее вполне доступной уже строящимся инструментам — таким, как Европейский экстремально большой телескоп E-ELT. Более того: ее можно попытаться зарегистрировать с помощью комбинации спектрометров SPHERE и ESPRESSO, уже работающих на Очень большом телескопе (VLT ESO), то есть, возможно, мы получим ее прямые изображения в совсем недалеком будущем. В любом случае, в нашем распоряжении появится информация о наклоне ее орбиты, изменении яркости в зависимости от фазового угла и другие важные сведения.

Из того, что мы уже обнаружили, следует упомянуть избыток

инфракрасного излучения от системы Проксима Центавра, свидетельствующий о наличии там значительных количеств теплой пыли. Возможно, там еще протекают процессы формирования планет, или же они завершились сравнительно недавно, и окрестности звезды еще не успели «очиститься» от пылевых частиц. Это было бы удивительным, поскольку, согласно современным оценкам, ее возраст составляет примерно 5 млрд лет.⁵ В одной из недавних публикаций, посвященных исследованиям этого объекта с помощью антенного массива ALMA на длине волны 1,3 мм, говорится о целых трех поясах пыли — одного теплого (на расстоянии 0,4 астрономической единицы от звезды) и двух холодных радиусом 1-4 а.е. и около 30 а.е. (последнее значение соот-

ветствует среднему радиусу орбиты Нептуна). Кроме того, немного в стороне находится еще один слабый пылевой сгусток. Ученые предположили, что это может быть планета-гигант с масштабной кольцевой системой. В общем, ближайшая звезда — очень интересное место в Галактике, богатое необычными космическими феноменами.

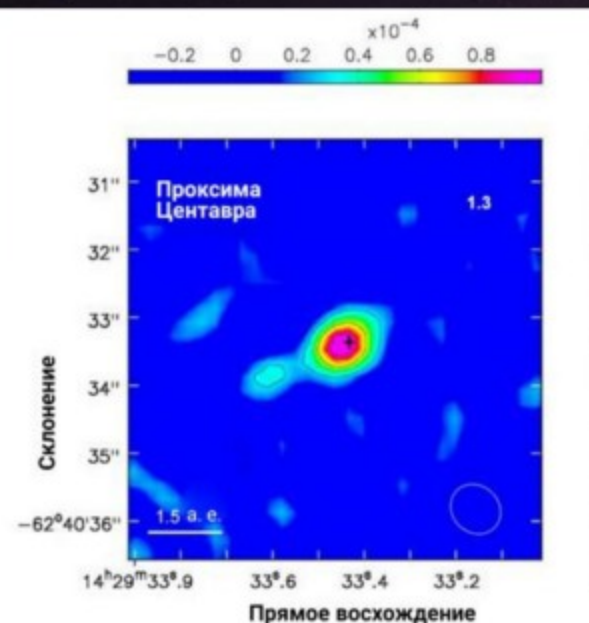
В конце я хотел бы сказать, что мы очень рады сотрудничать с проектом Pale Red Dot, и надеемся, что Proxima b будет далеко не последним его открытием (хотя, похоже, навсегда останется самым близким к Солнечной системе). Также хотелось бы поблагодарить другие научные организации, занимающиеся поисками и исследованиями небольших планет в зонах обитаемости близких звезд, и пожелать им дальнейших успехов.

Спасибо за внимание! ■

⁵ Уточненные оценки возраста Солнечной системы — 4,57 млрд лет (прим. перев.)

Возможный вид пылевых поясов, окружающих Проксиму Центавра. Изображение построено по данным субмиллиметрового радиотелескопа ALMA, обнаружившего микроволновое излучение на удалении примерно 4 а.е. от этой звезды (что вчетверо больше среднего расстояния между Землей и Солнцем). Некоторые признаки указывают на присутствие еще одного, более холодного внешнего пылевого кольца, напоминающего Пояс Койпера в Солнечной системе.

► Предполагаемая структура системы планет и поясов Проксима Центавра. Знаками вопроса отмечены те компоненты, свидетельств наличия которых пока зарегистрировано очень мало.





МОЩНАЯ ВСПЫШКА ПРОКСИМЫ ЦЕНТАВРА

Красные карлики относятся к наиболее распространенным звездоподобным объектам Вселенной (в Млечном Пути они составляют до 75% звездной популяции), однако изучать их сложно из-за сравнительно малой светимости — фактически детальным исследованиям доступно лишь несколько сотен ближайших к Солнцу звезд этого класса. Тем не менее, об одной их важных особенностей известно уже давно: время от времени они переживают мощные вспышки, при которых их яркость возрастает в несколько раз, а в высокоэнергетических диапазонах спектра — на порядки. Не является исключением и самая близкая к Солнечной системе звезда Проксима Центавра. И этот факт ставит под сомнение возможность существования жизни на ее недавно открытой планете.

Продолжительность активного существования красных карликов по сравнению, например, с Солнцем выглядит просто гигантской — некоторые из них могут светить на протяжении триллионов лет, то есть жизнь в их окрестностях имеет достаточно времени, чтобы возникнуть и эволюционировать. Эту благостную картину нарушают только вспышки, производимые такими звездами на протяжении значительной части жизненного цикла. Испускаемое в ходе них жесткое ультрафиолетовое и рентгеновское излучение вызывает нежелательные реакции в атмосферных газах и разрушение сложных органических молекул.

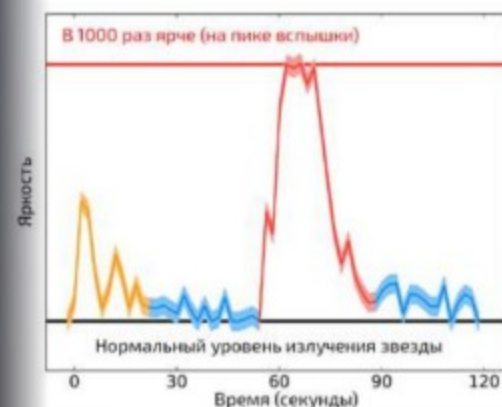
Группа сотрудников Университета Карнеги и Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики (Carnegie Institution for Science, Harvard-Smithsonian Center for

Astrophysics) сообщила об очень мощной вспышке Проксимы Центавра, наблюдавшейся 24 марта 2017 г. с использованием комплекса радиотелескопов ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) в чилийской пустыне Атакама. В относительных величинах она была примерно в десять раз ярче самых сильных подобных событий на Солнце. Всего за 10 секунд яркость звезды увеличилась в тысячу раз. Главной вспышке предшествовала еще одна, менее мощная. В общей сложности всплеск активности продолжался две минуты. На его пике Проксима могла быть короткое время видимой на земном небе невооруженным глазом.

По словам ученых, данные ALMA не добавляют оптимизма тем, кто надеется найти жизнь на планетах красных карликов. За миллиарды лет такие вспышки способны полностью «сдуть» атмосферу любой планеты в зоне обитаемости Проксимы Центавра и выжечь ее поверхность.

В продолжение темы активности красных карликов следует упомянуть доклад, зачитанный сотрудниками Обсерватории Шварцшильда (Германия) на прошедшей в начале апреля Европейской неделе астрономии и космических исследований. Они сообщили о мощной вспышке звезды AD Льва, находящейся на расстоянии около 16 световых лет от Солнца и относящейся к тому же классу. Наблюдения показали, что, в отличие от солнечных вспышек, она не сопровождалась корональным выбросом массы, то есть не должна была затронуть атмосферы потенциальных экзопланет в зоне обитаемости этой звезды. Однако на этом хоро-

шие новости для астробиологов заканчиваются. В ходе вспышки выделилось большое количество высокоэнергетического излучения (в основном рентгеновского), которое, согласно созданной планетологами модели, легко «прорвалось» бы через озоновый слой и стерилизовало бы поверхности планет. Более того, как показывают расчеты, всего за два года излучение красного карлика уничтожило бы 94% озонового слоя, эквивалентного земному. Таким образом, жизнь на гипотетических планетоподобных спутниках AD Льва никогда бы не выбралась за пределы океанов.



▲ Согласно наблюдениям радиообсерватории ALMA, 24 марта 2017 г. на протяжении двух минут мощность излучения Проксимы Центавра в микроволновом диапазоне значительно превышала средний уровень (изображенный на графике голубой кривой), а в ходе самой мощной вспышки, показанной красным цветом, превзошла его более чем в тысячу раз. Предшествующий ей всплеск активности выделен оранжевым.

красный карлик TRAPPIST-1

*и его
планетное
сете́йство*

Эмелин Болмон

Лаборатория астрофизики, интерпретации и моделирования, Центр астрофизических исследований, Университет Париж-Дидро, Национальный институт наук о Земле и астрономии

Соавторы доклада: Франк Селси, Мартин Тюрбе

Habitability in the Trappist-1 and other exoplanetary systems around red dwarfs

Emeline Bolmont,

Laboratoire AIM Paris-Saclay, CEA/Irfu
Université Paris-Diderot CNRS/INSU, 91191 Gif-sur-Yvette, France

co-authors: Franck Selsis, Martin Turbet

Доклад прочитан 7 декабря 2017 г. на 51-м симпозиуме ESLAB (Нордвейк, Голландия)

Перевод: **Владимир Манько**

Редактор перевода: **Сергей Гордиенко**



Эмелин Болмон

Родилась 23 августа 1986 г. в городе Тул на северо-востоке Франции. В 2007 г. окончила лицей Анри Пуанкаре (Нанси), в 2010 г. — Высшую нормальную школу Лиона. С 2010 по 2013 г. обучалась в аспирантуре в Лаборатории астрофизики (Бордо, Франция), в ноябре 2013 г. получила титул доктора философии в Университете Бордо 1. С 2016 г. работает в Лаборатории астрофизики, интерпретации и моделирования (Париж-Саклэ). Основная часть научных работ посвящена исследованиям динамической эволюции планетных систем, связанной с приливными взаимодействиями и собственным вращением планет иных звезд. Эмелин Болмон участвовала в открытии Kepler-186f — одной из первых землеподобных экзопланет.

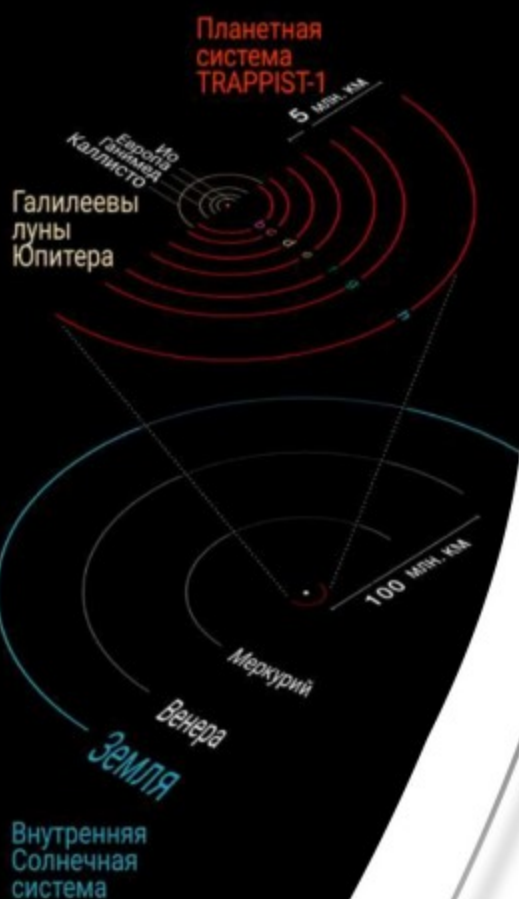
Я собираюсь поговорить о некоторых аспектах пригодности для жизни системы TRAPPIST-1, а также окрестностей других красных карликов. В системах такого типа планеты чаще всего расположены очень близко к звезде, поэтому, чтобы понять, насколько они потенциально обитаемы, необходимо уделять большое внимание звездно-планетному взаимодействию — переносу энергии и динамике приливных процессов. Здесь я хочу рассмотреть вопросы обитаемости только и исключительно с точки зрения наличия либо отсутствия жидкой воды.

Так в представлении художника выглядит одна из планет, обращающихся вокруг ультрахолодного красного карлика TRAPPIST-1. Новые наблюдения совместно со сложнейшим компьютерным моделированием позволили получить хорошие оценки плотности для всех семи землеподобных планет системы и заключить, что на пяти из них имеется много летучих веществ — по всей вероятности, воды.

Планеты холодных звезд

Сравнение орбит экзопланет, открытых у слабой красной звезды TRAPPIST-1, с орбитами галилеевых лун Юпитера и планет внутренней части Солнечной системы. Все уже известные спутники TRAPPIST-1 расположены гораздо ближе к центральному светилу, чем Меркурий к Солнцу. Однако, поскольку светимость их звезды гораздо ниже солнечной, они получают примерно такое же количество энергии, какое получают от Солнца Венера, Земля и Марс.

Сравнение орбит



Не будет лишним напомнить, что мы живем в интереснейшее время, когда открываются тысячи экзопланет. Большое их количество обнаружено в окрестностях солнцеподобных звезд, и очень важно, что сотни из них движутся внутри зоны обитаемости. Но лишь недавно, с 2014 г., мы начали открывать в этой зоне сравнительно небольшие каменные планеты. Ранее там находили только крупные тела (преимущественно газовые гиганты). Планета Kepler-186f, открытая в 2014 г., оказалась всего на 10% больше нашей Земли, и мы можем с уверенностью утверждать, что она имеет похожий состав и физические свойства.

С тех пор мы обнаружили уже немало подобных планет, причем многие из них находятся вблизи маломассивных звезд. Самой экстремальной из таких систем, несомненно, является TRAPPIST-1, где вокруг центрального светила обращается семь спутников (известных на данный момент). Масса этого светила составляет всего 9-10% солнечной, что близко к условной границе между собственно звездами и коричневыми карликами.

Когда мы пытаемся оценить возможность существования жидкой воды на планетах звездной системы, необходимо принимать во внимание всю ее историю от момента возникновения. Существует много сценариев изменения светимости маломассивных звезд в зависимости от их исходных параметров. Выше значения, соответствующего 8% солнечной массы, расположены красные и оранжевые карлики, а также солнцеподобные звезды; ниже — коричневые карлики, которые уже фактически звездами не являются.¹ Через несколько десятков миллионов лет после рождения нашего Солнца мощность его излучения практически стабилизировалась и оно вышло на главную последовательность, но менее массивные светила осуществляют этот переход значительно позже.

¹ Массы коричневых карликов недостаточны, чтобы в их недрах постоянно поддерживались термоядерные реакции синтеза гелия из основного изотопа водорода — протия (прим. переводчика)

Для самых «легких» объектов эта стадия может наступить только через несколько миллиардов лет. Естественно, данный факт очень сильно влияет на судьбы планет у таких звезд.

После рождения звезды TRAPPIST-1 ее светимость была выше нынешней, и зона обитаемости располагалась значительно дальше от центра, не захватывая ни одну из семи планет системы. По мере уменьшения светимости она перемещалась ближе к звезде, ее внутренний радиус уменьшался, и в нее попадало все больше объектов. Этот процесс занял не менее миллиарда лет. Сейчас вне зоны обитаемости движутся только две ближайших к светилу планеты TRAPPIST-1 b и c.

Таким образом, перед «попаданием» в зону обитаемости экзопланеты в подобных системах проводят довольно много времени в области более высоких температур, при которых вся их вода находится в атмосфере в газообразном состоянии.

Очень важно понимать, что про-

Эволюция атмосфер

исходит до того, как объект окажется в зоне обитаемости, и как в таких условиях протекают атмосферная и приливная динамическая эволюция, поскольку эти процессы в значительной степени определяют состояние планеты в дальнейшем (когда она, наконец, достигнет границ зоны обитаемости).

Тот факт, что светимость звезды меняется и что она испускает много высокоэнергетического излучения, имеет решающие последствия для газовых оболочек экзопланет. Опять же, на ранних этапах эволюции вся вода находится в газообразном состоянии и подвержена сильному воздействию жесткого излучения. Поэтому имеется две альтернативы: в первом случае к моменту достижения области благоприятных температур тело теряет всю или почти всю свою воду (если утечка летучих веществ была очень интенсивной или если планета изначально не имела много воды),

либо, в лучшем случае, часть водяного пара все же останется в сфере притяжения, чтобы позже сконденсироваться и образовать океаны.

Согласно расчетам, проведенным для коричневых карликов и самых «холодных» красных карликов, более вероятен все же первый сценарий — с полной потерей воды. Но к 2017 г. были подведены итоги детальных наблюдений высокоэнергетического излучения маломассивных звезд, и мы постарались усовершенствовать модели утечки летучих веществ из атмосфер их спутников.

Исходные данные таковы. Представьте себе, что вся вода находится в атмосфере планеты, облучаемой жестким ультрафиолетом (с длиной волны 100-200 нм), который расщепляет молекулы воды на атомы. Если звезда вдобавок испускает экстремальное ультрафиолетовое излучение с длиной волны меньше 100 нм, оно вызывает разогрев самых верхних атмосферных слоев, приводя к утечке атомарного кислорода и водорода в космическое пространство, причем, поскольку водород значительно легче, его потери намного превышают потери кислорода.

Ко времени достижения зоны обитаемости оставшиеся атомы рекомбинируют в молекулы воды и конденсируются, причем ее на планете остается значительно

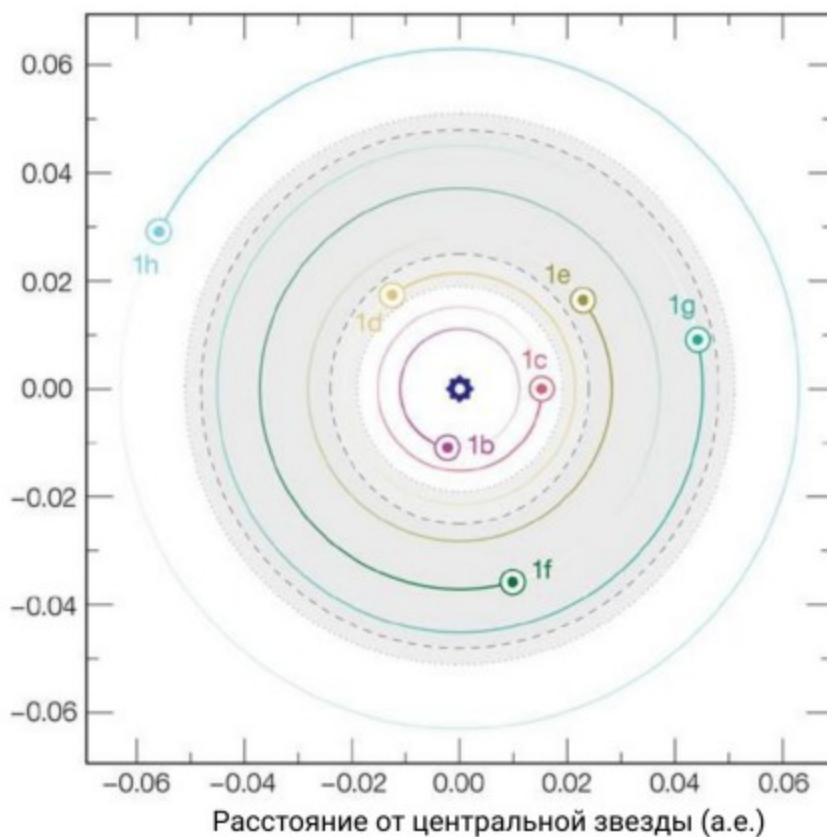
меньше, чем было изначально, а в атмосфере возникает избыток кислорода.

Эту модель мы применили к системе TRAPPIST-1. Две самые близкие к звезде планеты в зону обитаемости так и не попали, то есть они постоянно теряли воду и к настоящему времени потеряли, возможно, эквивалент десятка

жидкая вода. Орбита самой внешней из планет — TRAPPIST-1h — пока определена ненадежно. Пунктиром показаны альтернативные границы зоны обитаемости, основанные на иных теоретических предположениях.

земных океанов, то есть даже если они родились с большим количеством воды — сейчас они должны быть абсолютно сухими.

Что же касается более далеких планет, то если исходить из того, что они перестали терять воду, как только оказались в зоне обитаемости — она там должна была остаться, но, скорее всего,



ESO/M. Gillon et al

▲ На этой диаграмме представлены относительные размеры орбит семи планет системы ультрахолодного карлика TRAPPIST-1. Серая область соответствует зоне обитаемости, в которой на их поверхности может существовать

Планеты системы TRAPPIST-1

Орбитальный период
сутки

Расстояние до звезды
астрономические единицы

Радиус планеты
относительно радиуса Земли

Масса планеты
в земных массах



	b	c	d	e	f	g	h
Орбитальный период (сутки)	1.51	2.42	4.05	6.10	9.21	12.35	~20
Расстояние до звезды (а.е.)	0.011	0.015	0.021	0.028	0.037	0.045	~0.06
Радиус планеты (относительно радиуса Земли)	1.09	1.06	0.77	0.92	1.04	1.13	0.76
Масса планеты (в земных массах)	0.85	1.38	0.41	0.62	0.68	1.34	-

Вверху: физические характеристики семи открытых планет системы TRAPPIST-1 (внешний вид объектов показан условно). Орбиты трех из них, имеющих обозначение d, e и f, расположены внутри зоны обитаемости. Внизу для сравнения приведены аналогичные характеристики каменных планет Солнечной системы. В зоне обитаемости находится всего одна из них — Земля.

Каменные планеты Солнечной системы

Орбитальный период
сутки

Расстояние до Солнца
астрономические единицы

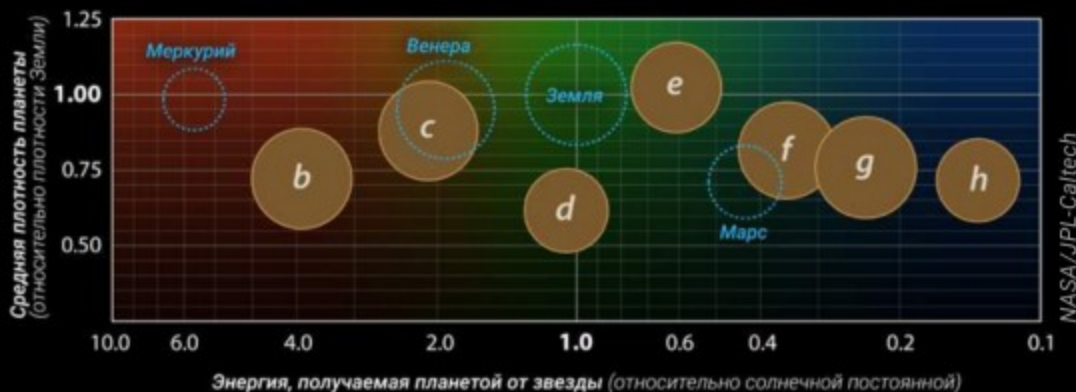
Радиус планеты
относительно радиуса Земли

Масса планеты
в земных массах

	Меркурий	Венера	Земля	Марс
Орбитальный период (сутки)	87.97	224.70	365.26	686.98
Расстояние до Солнца (а.е.)	0.387	0.723	1.000	1.524
Радиус планеты (относительно радиуса Земли)	0.38	0.95	1.00	0.53
Масса планеты (в земных массах)	0.06	0.82	1.00	0.11

NASA

TRAPPIST-1/ Солнечная система



На этом графике показаны относительные плотности семи планет системы TRAPPIST-1 и четырех внутренних планет Солнечной системы, а также поток энергии от центральной звезды на расстоянии их орбит.

в очень небольших количествах. Напомню, что все эти расчеты выполнены для чисто гидродинамических потерь, без учета возможного магнитного взаимодействия, которое могло бы стать причиной дополнительного рассеяния атмосферы.

Таким образом, в процессе эволюции планеты в ее газовой оболочке может образовываться значительное количество кислорода в результате небиологических процессов, и было бы большой ошибкой считать наличие там этого элемента признаком жизни.

На этом пока закончим с атмосферами экзопланет и поговорим об их динамике, в первую очередь — о приливной динамической эволюции.

Приливная динамическая эволюция

Динамические взаимодействия в планетных системах обуславливают целый ряд процессов. Прежде всего, это орбитальная миграция, которая может быть направлена в ту либо иную сторону (уменьшения или увеличения радиусов орбит). Приливные силы также имеют тенденцию к «сглаживанию» эксцентриситетов орбит, что делает систему более устойчивой. Еще они влияют на эволюцию собственного вращения планет, в результате чего их орбитальные периоды часто становятся равными периодам вращения вокруг своей оси. Таким образом, объект оказывается постоянно повернутым к центральной звезде од-

ной стороной, то есть на одном его полушарии воцаряется вечный день, на другом — вечная ночь. Такая ситуация называется «приливным захватом». Также нужно учитывать, что со временем угол между осью вращения планеты и перпендикуляром к плоскости ее орбиты (то есть угол между плоскостями ее экватора и орбиты) уменьшается. У Земли этот угол немного больше 23° , но обычно чем ближе к звезде — тем меньше этот параметр.

С учетом всего вышесказанного мы осуществили динамическую симуляцию системы TRAPPIST-1. Главной проблемой, конечно, было то, что мы совершенно ничего не знаем о ее «стартовых условиях». Фактически единственный способ преодолеть эту сложность — создать сразу много моделей, базирующихся на большом количестве разнообразных наборов исходных данных, запустить процессы их «эволюции» и посмотреть, не получим ли мы на нужном этапе нечто похожее на исследуемую систему. Такой подход очень сложен, требуя огромных затрат времени и вычислительных ресурсов. Нам пришлось промоделировать миллиарды лет эволюции и при этом рассмотреть тысячи вариантов начальных условий.

В ходе применения так называемой симуляции «N-body» к системе TRAPPIST-1 мы взяли набор ее исходных параметров, описанных в нашей публикации в 2017 г. (Gillan et al. 2017), и запустили моделирование ее эволюции с помощью недавно разработанной программы Posidonius. Она базируется на открытых источниках и очень проста в обращении, фактически теперь

любой желающий может исследовать приливную динамическую эволюцию мультипланетных систем. Итак, анализируя изменения эксцентриситетов со временем, несложно заметить, что на протяжении всего лишь миллиона лет под влиянием приливных взаимодействий они существенно уменьшаются. В частности, для двух внутренних планет TRAPPIST-1 они достигли совсем незначительных величин — порядка 10^{-3} .

Также можно смоделировать эволюцию вращения планет вокруг оси. Здесь мы наблюдаем очень быстрое изменение его периода в сторону синхронизации с орбитальным движением. Похожим образом себя ведут и наклоны оси вращения — в течение 200 тыс. лет плоскости экваторов планет заметно приближаются к плоскости их орбит, но, поскольку в системе присутствует более одного объекта, их наклон не уменьшается до нуля, однако и не превышает одного градуса.

Как мы видим, исключительно быстро — за несколько сотен тысяч лет, что немного с точки зрения эволюции — происходит синхронизация вращения планет и «выравнивание» их осей. Это значит, что на данный момент объекты системы уже давно прошли указанную стадию и находятся примерно в таком же состоянии, что и сразу по ее завершении. Этот факт можно использовать при дальнейшем моделировании и оценке потенциальной обитаемости планет. В одной из статей, недавно принятых для публикации, показано, что, например, у TRAPPIST-1e вблизи точки на поверхности, где центральная звезда постоянно видна в зените, должен все время иметься участок с открытой водой — практически независимо от давления и состава атмосферы.

Приливный разогрев и климат

Далее, зная детали динамической эволюции системы, мы можем вычислить ограничения на скорости вращения и эксцентриситеты орбит экзопланет, а потом заложить полученные значения в климатическую модель для оценки их возможной обитаемости либо хотя бы наличия там жидкой воды. Еще одной важной вещью для TRAPPIST-1 является то, что, как уже сказано, из-за планет-планетного взаимодействия ее члены все же имеют небольшие эксцентриситеты и наклоны экваторов, а это, в свою очередь, ведет к серьезным последствиям: планеты должны испытывать приливный нагрев. Здесь мы тоже имеем прекрасный пример в нашей Солнечной системе — спутник Юпитера Ио, постоянно деформируемый приливами со стороны газового гиганта. Плотность выделения энергии благодаря такому воздействию достигает 3 Вт/м^2 , что приводит к исключительно интенсивному вулканизму на поверхности этого небесного тела. Насколько велика мощность такого нагрева? По сравнению с Землей она выше почти в 40 раз — в недрах нашей планеты основным источником энергии является распад радиоактивных элементов, а приливы со стороны Луны и Солнца для нее столь важной роли не играют.

Так или иначе, планеты системы TRAPPIST-1 испытывают примерно то же, что и юпитерианский спутник Ио: их недра сильно нагреваются за счет приливных деформаций. Если мы построим график, отображающий интенсивность такого нагрева (в ваттах на квадратный метр поверхности) в зависимости от времени, мы увидим, что в наши дни его величина для трех внешних планет — TRAPPIST-1f, g и h — меньше, чем у Земли, для трех следующих, если двигаться внутрь системы — выше, чем у Земли, но ниже, чем у Ио, а у TRAPPIST-1b этот показатель должен быть даже больше, чем у самого вулканически активного тела Солнечной системы. То есть можно предположить, что ближайшая к звезде планета в системе TRAPPIST-1 тоже



▼ Так, по мнению художника, может выглядеть ландшафт планеты TRAPPIST-1f — спутника слабого красного карлика в созвездии Водолея. Поскольку эта планета (как и остальные шесть), вероятно, постоянно повернута к своей звезде одной стороной, на ней не бывает закатов и восходов, а собственно звезда видна низко над горизонтом в узком поясе вблизи терминатора (границы ее освещенного и неосвещенного полушарий). «Ночное» полушарие почти наверняка покрыто вечными льдами, а на «дневном», скорее всего, имеется хотя бы небольшой участок открытой воды вблизи точки, над которой светило находится в зените. Поскольку объекты системы движутся по очень близким орбитам, сравнимым скорее с орбитами галилеевых спутников Юпитера, диски всех планет должны быть видны невооруженным глазом, соседние планеты e и d в периоды противостояний будут иметь больший угловой размер, чем Луна на нашем небе, а тусклый оранжевый окажется втрое больше диска Солнца, видимого с Земли.

На рисунке показаны экзопланеты TRAPPIST-1d (слева сверху), TRAPPIST-1e (самый большой серп) и TRAPPIST-1c — яркая точка недалеко от края звездного диска.

◀ Это видео демонстрирует художественное представление системы красного карлика TRAPPIST-1, вокруг которого обращается семь планет. На протяжении трех недель эту систему наблюдал инфракрасный космический телескоп Spitzer (NASA), точно измерив величину падения излучения звезды при прохождении по ее диску каждого из спутников, что помогло уточнить их размеры и радиусы орбит. Удалось подтвердить предположение о том, что три из них движутся в зоне обитаемости. Вид ближайшей к звезде планеты TRAPPIST-1b, испытывающей наиболее сильной приливный нагрев, смоделирован на основе снимков юпитерианского спутника Ио — самого вулканически активного тела Солнечной системы. TRAPPIST-1c показана как скалистый мир с небольшой ледяной шапкой в центре полушария, всегда повернутого в противоположную от центрального светила сторону. TRAPPIST-1d, вероятно, имеет небольшую полосу на освещенной стороне вдоль терминатора, где вода находится в жидком состоянии. Ближе к «подзвездной» точке становится слишком жарко — там поверхность представляет собой выжженную безводную пустыню; неосвещенная поверхность скована вечным льдом. TRAPPIST-1e и TRAPPIST-1f изображены как океанические миры с оледеневшим неосвещенным полушарием, TRAPPIST-1g, по мнению ученых, имеет плотную атмосферу, а TRAPPIST-1h полностью покрыта ледниками. Фоновое звездное небо показано таким, каким оно реально выглядит из окрестностей звезды TRAPPIST-1. Фигуры большинства созвездий легко узнаваемы, но заметно искажены.



будет местом бурного вулканизма, а значит, еще и по этой причине существование жизни там крайне маловероятно.

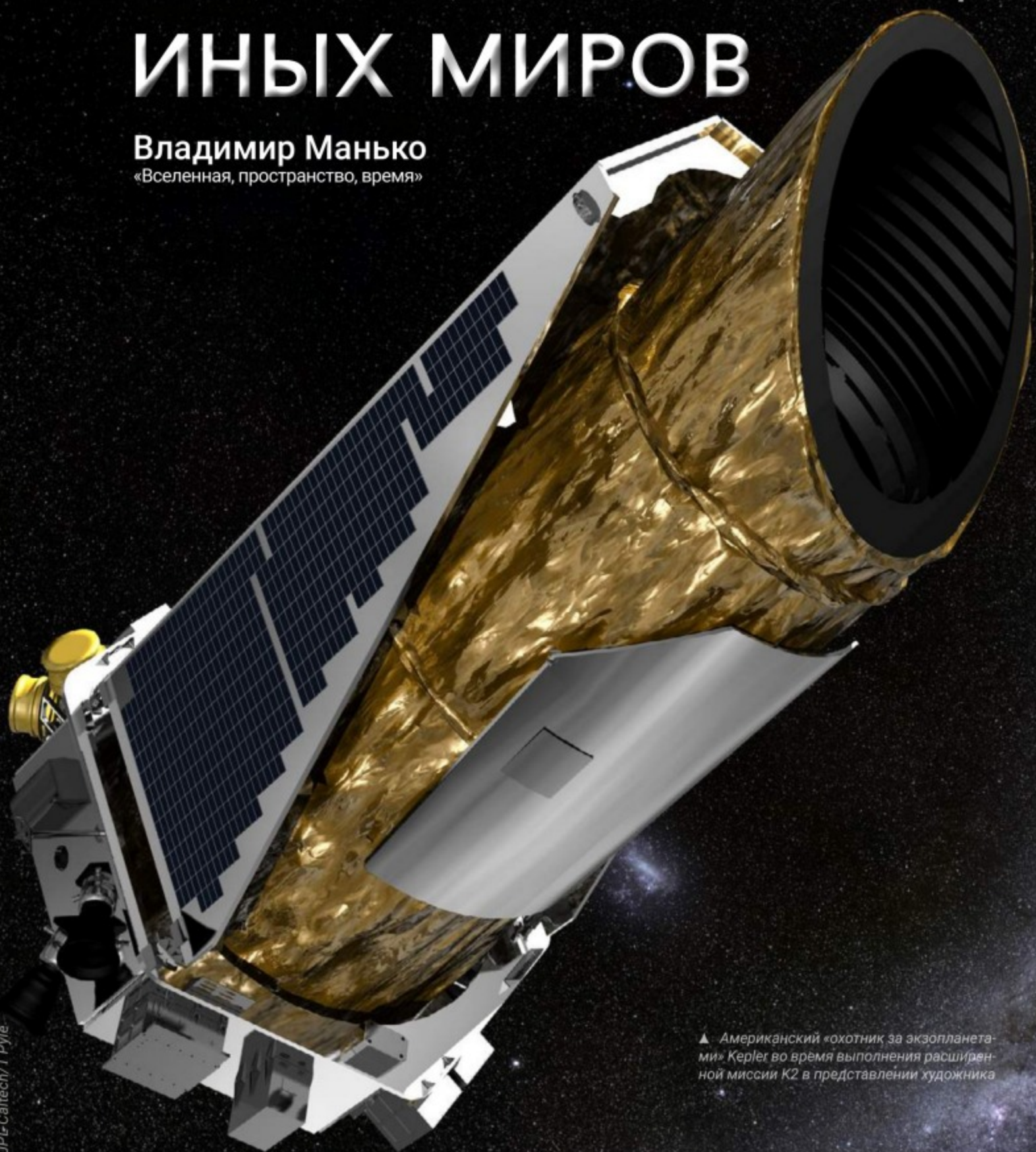
Конечно, приливный нагрев неизбежно влияет на внутреннюю структуру объекта, на его газовую оболочку и климатические условия, а также на определенных стадиях наверняка обеспечивает энергией такие процессы, как движение тектонических плит, очень важные с

точки зрения стабильности планеты. Если условно изобразить все взаимосвязи между звездной эволюцией, приливным взаимодействием, характером вращения экзопланет и их орбитальными параметрами, мы увидим, насколько сложен весь комплекс факторов, определяющих потенциальную обитаемость, и как много мы еще не знаем в этой области. Но мы настойчиво продолжаем свои исследования! ■

ПОИСКИ ИНЫХ МИРОВ

*Космические
обсерватории
сегодня и завтра*

Владимир Манько
«Вселенная, пространство, время»



▲ Американский «охотник за экзопланетами» Кеплер во время выполнения расширенной миссии K2 в представлении художника

Чуть больше четверти века назад человечество не знало практически ничего о планетах за пределами Солнечной системы. Ученые могли рассуждать о них лишь теоретически. Сейчас число достоверно известных объектов этого класса превышает три тысячи; еще больше «стоит в очереди» на подтверждение. Самая молодая отрасль астрономии, занимающаяся изучением экзопланет (такое название получили эти тела), бурно развивается, и значительный вклад в нее вносят мировые космические агентства.

Завершение миссии телескопа Kepler

Девять лет назад, 7 марта 2009 г., с космодрома на мысе Канаверал стартовала ракета Delta II с космическим телескопом Kepler, запущенным в рамках программы Discovery. Последняя ступень ракеты вывела его на околосолнечную орбиту с периодом 372,57 суток, двигаясь по которой, он медленно «отстает» от Земли (к настоящему времени расстояние до него почти достигло одной астрономической единицы — среднего радиуса земной орбиты). Такое необычное «место работы» было выбрано, исходя из научных задач инструмента: он предназначен для поиска планет других звезд транзитным методом — регистрируя малейшие падения блеска светил, связанные с прохождением по их дискам планетоподобных спутников, в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. Для этого космический аппарат, оснащенный 1,4-метровым рефлектором (на тот момент это было крупнейшее зеркало, отправившееся за пределы орбиты Луны¹), нацелили на участок неба вблизи границы созвездий Лебедя и Лир, а потом удерживали его в одном и том же положении на протяжении четырех лет. Вблизи нашей планеты это сделать было бы сложно из-за ее сильного приливного воздействия.

Kepler стал самым успешным «охотником за экзопланетами» в истории. По состоянию на 8 марта 2018 г. он обнаружил 2649 плане-

¹ Поскольку телескоп был собран по схеме Шмидта, его рабочее отверстие имеет в полтора раза меньший размер (0,95 м).

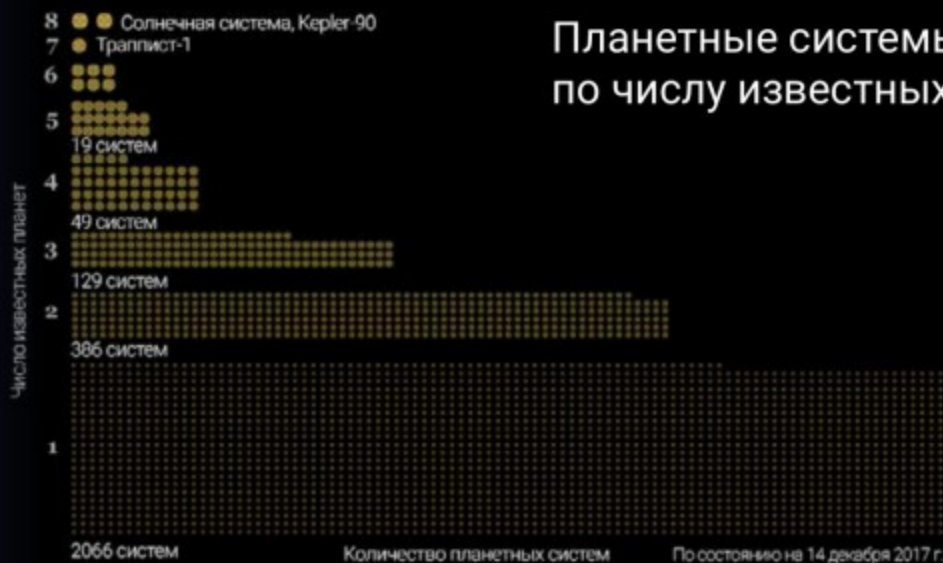
топодобных объектов в окрестностях иных звезд, и еще 2724 объекта пока ожидают подтверждения. Основная часть из этого числа была открыта в ходе основной миссии, продолжавшейся до мая 2013 г., когда у космического аппарата отказал второй гироскоп, отвечавший за его стабилизацию (первый гироскоп перестал работать еще в июле 2012 г.). Два оставшихся не могли поддерживать ориентацию телескопа с нужной точностью, поэтому в NASA объявили о прекращении его миссии. Однако инженеры все же смогли изобрести способ продлить эксплуатацию дорогостоящего инструмента, использовав в качестве дополнительной стабилизирующей силы давление солнечного света. Правда, для этого его пришлось «отвернуть» от исходного поля зрения и поочередно на-



NASA/Ames Research Center/Wendy Stenzel

▲ *Kepler* стал первой миссией NASA, имеющей возможность регистрировать землеподобные экзопланеты с помощью транзитного метода. На протяжении первых четырех лет своей работы он был постоянно нацелен на один и тот же участок неба на границе созвездий Лебедя и Лиры (слева). С 2014 г. он

производил обзоры выбранных площадок недалеко от эклиптики. Данные, собранные космическим телескопом, помогли получить представление о распространенности планет различных типов во Вселенной и уточнить многие неизвестные аспекты процессов планетообразования



Планетные системы, упорядоченные по числу известных планет

Количество известных на данный момент систем с одной, двумя и более планетами, включая Солнечную систему. Каждая точка соответствует индивидуальной звезде. Очевидно, больше всего уже открыто светил, вокруг которых обращается только одна планета (свыше 2 тыс.). Открытие восьмипланетной системы Kepler-90 стало указанием на то, что не исключено и обнаружение звезд с еще большим числом спутников.

NASA Ames/JPL-Caltech/Tim Pyle



Так в представлении художника выглядит самая маленькая из уже подтвержденных экзопланет, расположенная в зоне обитаемости своей звезды. Ее открыл космический телескоп Kepler (NASA), поэтому она получила обозначение Kepler-62f. По размерам эта планета примерно на 40% превышает Землю, на один оборот вокруг центрального светила, находящегося в 1200 световых годах от Солнца в направлении созвездия Лиры, у нее уходит 267 суток. В этой же системе обнаружен еще один землеподобный объект (здесь он изображен как яркая точка в правой нижней части рисунка) — планета Kepler-62e. Она крупнее Земли почти на 60% и движется недалеко от внутренней границы зоны обитаемости.

правлять на различные площадки, расположенные вблизи эклиптики.

Расширенная миссия получила обозначение K2. Предполагалось, что в ее рамках телескоп проведет десять наблюдательных сессий, после чего в его баках должно было закончиться топливо для бортовых двигателей, необходимое для «перенацеливания» на очередную площадку и дополнительные коррекции положения в пространстве. В реальности Kepler успел провести 16 наблюдательных кампаний и уже приступил к 17-й, которая, скорее всего, станет для него последней. Приборы не показывают точного объема остатков жидкости в баках, поэтому инженерам приходится рассчитывать ее количество, исходя из начального запаса (12 кг) и оценочных затрат в ходе включений двигателей. Теперь специалисты планируют собрать как можно больше сведений, передать их на Землю, пока космический аппарат поддается управлению, и осуществить финальную калибровку его научных приборов.

Для обработки информации, полученной в ходе миссии Kepler, привлечены тысячи добровольцев, которые могут анализировать данные о блеске исследованных им звезд, выложенные на специальном сайте. Работы им хватит еще не на один год. А на смену знаменитому космическому телескопу уже готовятся прийти новые, более совершенные обсерватории.

TESS: «широкий взгляд» на небо

Первым из экзопланетных телескопов нового поколения в космос отправился американский аппарат TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite). Он был запущен 18 апреля 2018 г. с космодрома на мысе Канаверал с помощью ракеты Falcon 9 Full Thrust компании SpaceX, доставившей его на промежуточную орбиту с перигеем 200 км и апогеем 27,8 тыс. км. Далее космический аппарат должен выполнить пять включений бортового двигателя, которые переведут его на траекторию облета Луны, после чего он совершит финальный маневр и в середине июня выйдет на рабочую орбиту с перигеем 108 тыс.



▲ Обсерватория TESS, как и ее предшественник Kepler, должна вести поиск экзопланет транзитным методом, но будет работать не на гелиоцентрической, а на высокой околоземной орбите.

Старт ракеты-носителя Falcon 9 с космическим телескопом TESS.

км, апогеем 373 тыс. км (немного меньше среднего расстояния между Землей и Луной) и периодом обращения 13,7 суток.² Такая орбита выбрана для того, чтобы телескоп постоянно находился за пределами околоземных радиационных поясов с повышенной концентрацией высокоэнергетических заряженных частиц, способных повредить бортовую электронику.

Если Kepler изначально был одновременно нацелен на неболь-

шой участок неба площадью 105 квадратных градусов (и лишь во время расширенной миссии «перенацеливался» на другие участки), то TESS рассчитан на поиски экзопланет путем мониторинга 200 тыс. ближайших к нам и наиболее ярких звезд, разбросанных по всей небесной сфере. Поэтому четыре его 16,8-мегапиксельных камеры, оснащенных 10-сантиметровыми объективами, имеют меньшую чувствительность, но зато огромное поле зрения — 24×24°. Всего таких камер на космический аппарат установят четыре. В течение первого года миссии они произведут полный обзор объ-

² Аппарат будет двигаться в резонансе 2:1 с Луной, что позволит минимизировать гравитационные возмущения со стороны последней.



NASA

▲ Угол на небесной сфере между эклиптикой и каждым из двух эклиптических полюсов составляет 90°. Примерно такое же общее поле зрения имеют четыре камеры телескопа TESS. В течение одной наблюдательной сессии он будет вести мониторинг полосы от эклиптики до полюса, «покрывая» все небо в течение 26 таких сессий.

ектов северного полушария неба, имеющих блеск ярче 12-й звездной величины, с перекрытием около полюсов эклиптики. Второй год уйдет на исследование южного неба.

Всего предполагается изучить свыше полумиллиона звезд спектральных классов G (солнцеподобные), K (оранжевые карлики) и M (красные карлики). Последние будут представлять собой непо-



Миссия TESS (NASA) базируется на наследии телескопа Kepler. Новый космический аппарат тоже должен искать экзопланеты транзитным методом, но зона его поисков будет охватывать почти всю небесную сферу. За один сеанс он сможет осуществлять мониторинг полосы длиной 96° и шириной 24°. Обсерваторию TESS собираются вывести на удаленную вытянутую околоземную орбиту, за пределы основных радиационных поясов Земли.

средственное окружение Солнца: даже ближайшие из них редко имеют блеск выше 10-й величины. Но и остальные светила также не относятся к мощным «излучателям». В сумме ко всем трем перечисленным классам принадлежит свыше 90% звезд Вселенной.

Длительность непрерывных наблюдений каждой площадки будет равна орбитальному периоду космического телескопа. Полученные данные должны накапливаться в течение этого времени и незадолго до прохождения перигея отправляться на Землю. В самом перигее группа сопровождения собирается производить перенацеливание камер аппарата на следующий участок небесной сферы.

TESS имеет массу 350 кг и габариты 3,7×1,2×1,5 м (первое число соответствует «размаху» двух фототальванических панелей, генерирующих до 400 Вт электроэнергии). Камеры для него изготовлены в Линкольновской лаборатории Масчусетского технологического института (MIT Lincoln Laboratory). Ориентация аппарата будет осу-

ществляться с помощью четырех гидразиновых реактивных двигателей и четырех гироскопов. В приеме и обработке получаемой им информации задействовано множество систем и научных организаций, среди которых, в частности, сеть дальней космической связи DSN, центр управления миссиями корпорации Orbital ATK, Исследовательский центр им. Эймса (Ames Research Center), Годдардовский центр космических полетов (Goddard Space Flight Center), а также Смитсоновская астрофизическая обсерватория. Финансирование проекта частично осуществляется за счет компании Google; его общая стоимость оценивается в 380 млн долларов США. Плановая продолжительность функционирования телескопа — два года с возможностью продления.

Специалисты миссии признают, что вероятность найти в ходе нее планету, похожую на Землю (то есть обладающую близкой массой и находящуюся в зоне обитаемости вблизи солнцеподобной звезды) довольно мала. Однако они надеются получить обширный статистический материал об экзопланетных системах небольших звезд, а также астросейсмологии — колебаниях звездных поверхностей.

CHEOPS: европейский исследователь экзопланет³

Первая европейская специализированная миссия, посвященная исследованиям экзопланет методом высокоточных измерений моментов и длительности транзитов, получила название CHEOPS (CHaracterising ExOPlanet Satellite — спутник для характеристики экзопланет). В основном она предназначена для прецизионной фотометрии ярких звезд, у которых уже подтверждено наличие планетоподобных спутников.

³ По докладу: K. Isaak, 'CHEOPS: Characterising exoplanet Satellite — ESA's first S-class mission'. — CHEOPS Mission Consortium and the ESA CHEOPS Project Team. 07 Dec. 2017, 51st ESLAB Symposium, Noordwijk, The Netherlands.

Запуск космического аппарата на солнечно-синхронную орбиту высотой 600-850 км запланирован на конец 2018 г. с космодрома Куру во Французской Гвиане с помощью ракеты «Союз-СТ». На 51-м симпозиуме ESLAB в нидерландском Нордвейке миссию презентовала участница ее рабочей группы Кейт Айзек (Kate Isaak).

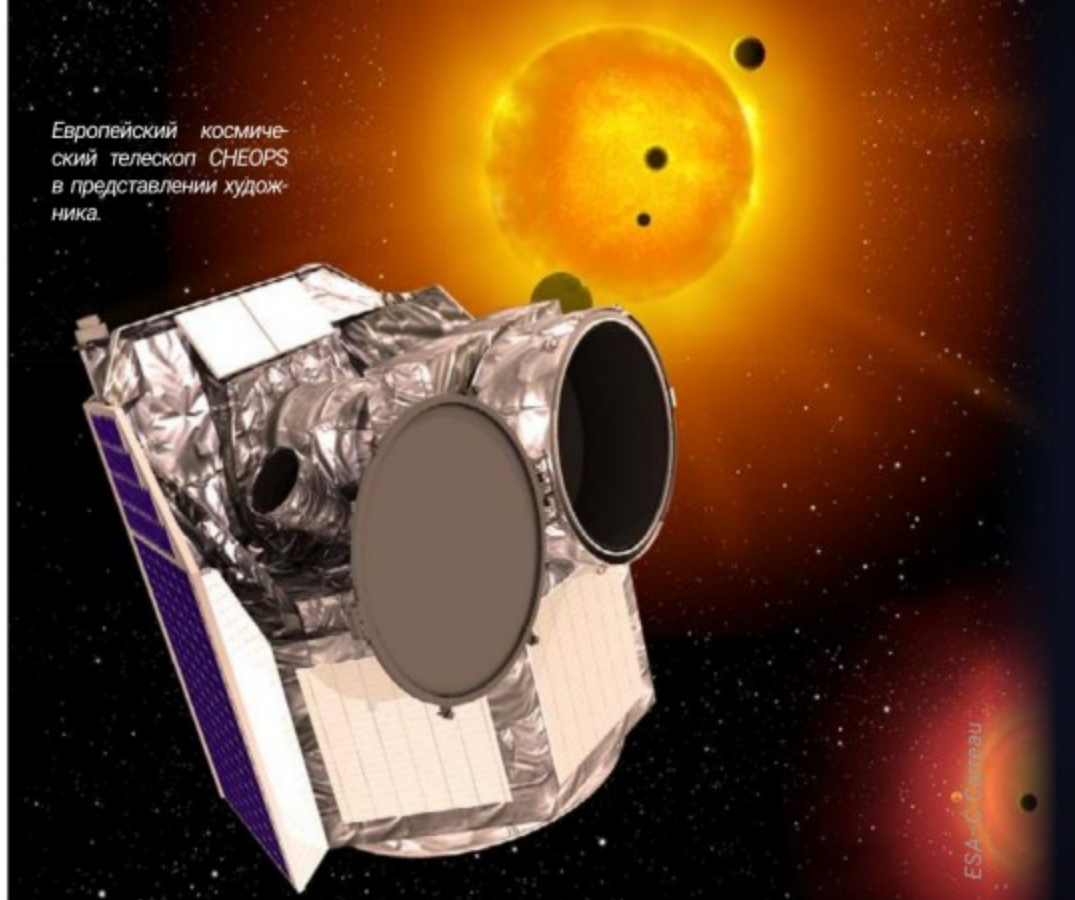
Это будет первая миссия S-класса⁴ в рамках программы Cosmic Vision, реализуемой ESA в период с 2015 по 2025 г. в партнерстве со Швейцарией и при участии 10 стран Евросоюза. Она обеспечит уникальную возможность с большой точностью определить радиусы известных экзопланет в диапазоне от супер-Земель до аналогов Нептуна, для которых уже имеются оценки массы, сделанные на основе наземных спектроскопических наблюдений. Это, в свою очередь, позволит точнее определить их плотность, а значит — сделать выводы об их составе, то есть понять, имеем ли мы дело с каменной планетой, либо же она состоит преимущественно из воды (или льда).

Поиск новых экзопланет также будет вестись, однако ученые предлагают сосредоточиться на звездах, у которых уже открыты спутники (в первую очередь методом лучевых скоростей — по периодическому сдвигу линий в спектре центрального светила). Таким образом, мы получим значительно больший массив информации о мультипланетных системах, что позволит детальнее изучить их эволюцию. Опять же, новооткрытые объекты далее будут детально исследоваться с помощью других телескопов — как наземных, так и космических обсерваторий нового поколения — в первую очередь с целью поисков и дальнейшего изучения их атмосфер.

Предполагается, что CHEOPS (как и TESS) должен ориентироваться на мониторинг звезд ярче 12-й величины, и лишь немногим интересным более слабым объектам может быть также уделено

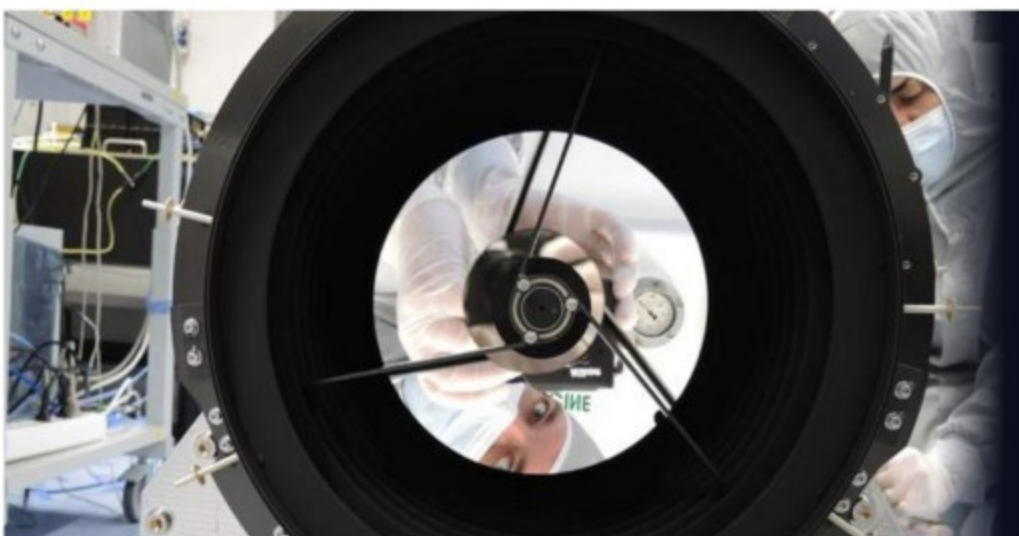
⁴ К классу S относят сравнительно дешевые миссии (стоимостью не выше 150 млн евро) со временем разработки от утверждения концепции до запуска не более 4 лет, что позволяет оперативно использовать в них наиболее прогрессивные технологии.

Европейский космический телескоп CHEOPS в представлении художника.



▼ Сотрудники Бернского университета (Швейцария) завершили сборку оптической системы космического телескопа CHEOPS, установив на него главное зеркало диаметром 32 см. Далее он будет отправлен в Мадрид, где его интегрируют со спутниковой платформой, созданной местным филиалом Airbus Defense and Space.

После того, как полностью собранный телескоп пройдет ряд тестов, его переправят на космодром Куру во Французской Гвиане, откуда в конце текущего года он будет запущен российской ракетой «Союз» на солнечно-синхронную орбиту высотой около 800 км.



внимание. Высокую фотометрическую точность телескопа обеспечит использование фотометра на основе одиночной мегапиксельной ПЗС-матрицы, работающего в диапазоне длин волн 350-1100 нм и установленного в фокусе внеосевого рефлектора системы Ричи-Кретьена с эквивалентной апертурой 30 см (f/5). В некоторых случаях чувствительность камеры даст возможность по кривой блеска измерить альбедо (отражательную способность) экзопланеты и зарегистрировать ее

изменения, например, в результате появления либо исчезновения облачного покрова. Особенно интересны такие измерения для так называемых «горячих Юпитеров» — ученые хотят выяснить механизм переноса энергии между их дневным и ночным полушариями. Отдельным разделом исследований станут экзолуны: их собираются искать по отклонениям моментов ингресса и эгресса (входа планеты на звездный диск и схода с него), вызванных их гравитационным влиянием на

центральное тело — в данном случае собственно экзопланету.

Номинальная продолжительность миссии составит 3,5 года с возможным продлением до 5 лет. 20% наблюдательного времени рабочая группа планирует предоставить гостевым астрономам, подавшим соответствующие заявки в ESA и прошедшим отбор. Однако еще четверть этого времени может быть зарезервировано под «срочные наблюдения» — например, для исследований неожиданно вспыхнувшей Сверхновой или другого необычного объекта. Примерно 50 дней в году сотрудники миссии хотят посвятить детальным наблюдениям транзитов «супер-Земель».

Общая масса телескопа CHEOPS будет равна примерно 280 кг, размеры — 1,5×1,2×1,5 м, потребляемая мощность — порядка 60 Вт. Кроме видимого блеска, на объекты его наблюдений налагаются следующие ограничения: они должны располагаться не менее чем в 5° от Луны, не менее чем в 35° от земного лимба и как минимум в 120° от Солнца. Ежесуточный поток данных от космического аппарата предположительно достигнет одного гигабита.

PLATO: дальняя перспектива⁵

Еще один европейский проект в рамках программы Cosmic Vision получил обозначение PLATO (PLANetary Transits and Oscillations of stars — «Планетные транзиты и колебания звезд»). Этой миссии, отобранной специальным комитетом ESA 20 июня 2017 г., присвоена более высокая категория M3 (средний класс). Ее главная задача — поиски и характеристика землеподобных экзопланет, расположенных в зонах обитаемости, то есть обращающихся на таком расстоянии от центральных светил, где температурный режим на их поверхности допускает существование жидкой воды. На

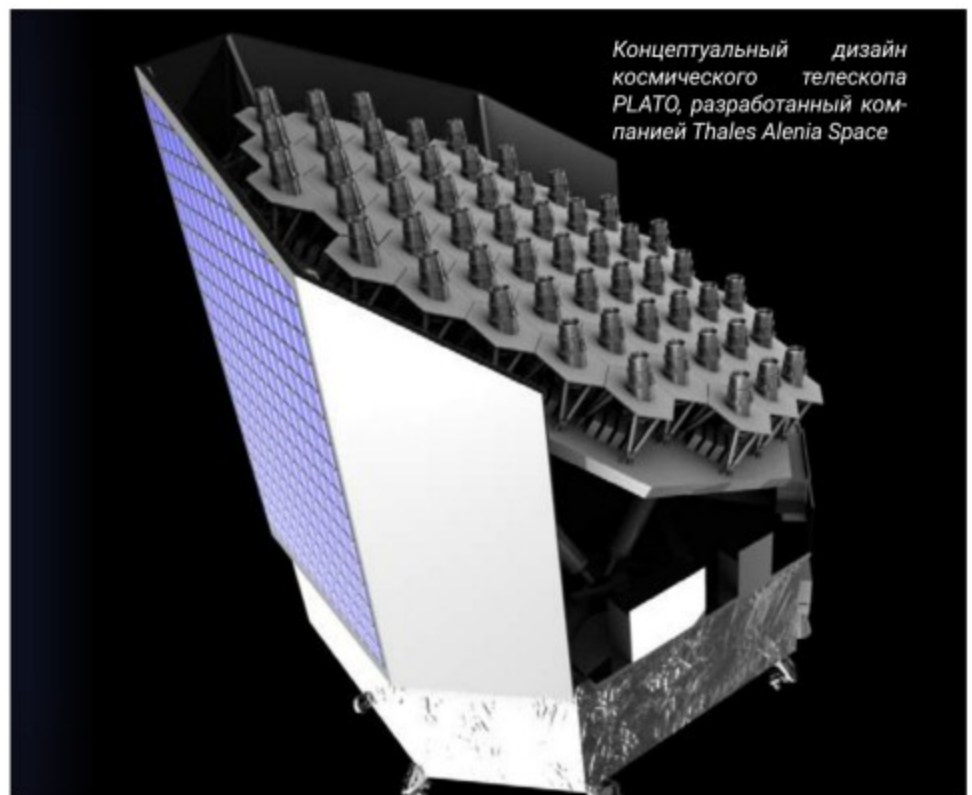
51-м симпозиуме ESLAB миссию представила сотрудница научного директората ESA Ана Эрас (Ana Heras).

Одной из главных проблем современных экзопланетных исследований является большая неточность данных, получаемых существующими телескопами. Это дает значительный разброс вычисленных физических характеристик найденных объектов: часто ученые не могут сказать, имеют ли они дело с небольшим газовым гигантом или же с крупной каменной планетой. Еще сложнее бывает идентифицировать ледяные тела, почти наверняка содержащие заметные примеси силикатных пород. Во многих случаях мы знаем массу экзопланеты, не зная ее радиуса, и наоборот. Этот пробел призван заполнить телескоп PLATO. Для этого он будет оборудован 26 линзовыми камерами с диаметрами объективов 120 мм и ПЗС-матрицами размером 4510×4510 пикселей, что дает для каждой из них поле зрения в 1100 квадратных градусов. 24 камеры должны работать в «нормальном» режиме и наблюдать звезды слабее 8-й величины, получая информацию об их блеске каждые 25 секунд. С помощью остальных двух астрономы собираются регистрировать изменения блеска ярких звезд (от 4 до 8^m), считывая

данные с матриц с частотой 2,5 секунды.

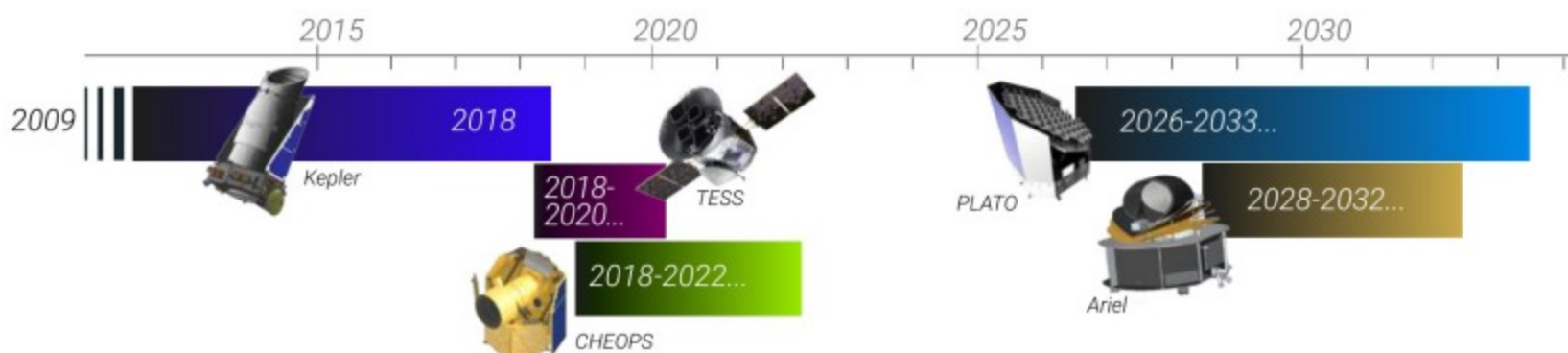
Такой же точной характеристике подвергнутся не только экзопланеты, но и звезды, вокруг которых они обращаются — это необходимо для уточнения границ зоны обитаемости и уровня вспышечной активности светил (если она слишком высока, система окажется малоприспособленной для жизни в каких бы то ни было формах). Внимания исследователей удостоятся как солнцеподобные объекты и красные карлики, так и красные гиганты, а также двойные звезды. Если речь идет о мультипланетной системе, будут определены орбитальные и физические параметры всех доступных компонентов, что позволит строить модели ее эволюции с учетом взаимного гравитационного воздействия и миграции отдельных тел. «На выходе» ученые надеются получить богатое разнообразие планет с различными условиями, сведения о которых станут уникальным ресурсом для понимания проблемы обитаемости в широчайшем диапазоне сред и источников энергии.

Конечно же, параллельно будут производиться наблюдения с помощью наземных телескопов, по мере поступления информации подключающихся к исследованиям перспективных экзопланет,



⁵ По докладу: A. Heras 'The PLATO space mission and the quest for habitable worlds'. — Science Support Office, Directorate of Science, European Space Agency. 07 Dec. 2017, 51st ESLAB Symposium, Noordwijk, The Netherlands.

Космические обсерватории для поисков экзопланет



которые способны поддерживать жизнь в той или иной форме. Они станут объектами спектроскопических исследований с целью поисков у них атмосферы и определения ее состава.

На протяжении своей четырехлетней основной миссии, которая начнется в 2026 г., PLATO будет изучать два участка в противоположных областях небесной сферы (один из них перекрывается с базовым полем телескопа Kepler с целью калибровки и уточнения ранее полученных результатов). Для этого его выведут в лагранжеву точку L_2 системы «Земля-Солнце», где космический аппарат про-

ще стабилизировать в заданном положении. Проектный срок его эксплуатации должен составить 6,5 лет, поэтому, вероятнее всего, по истечении основной миссии обсерваторию нацелят как минимум на еще один участок, выбранный группой сопровождения на основании данных, полученных другими телескопами — как наземными, так и внеатмосферными.

PLATO должен искать планеты иных звезд тем же методом, что и Kepler — по регистрации экзопланетных транзитов в ходе длительного мониторинга выбранного участка неба. Однако точность его измерений будет намного выше (в

том числе за счет того, что с его помощью собираются исследовать сравнительно яркие звезды). Ожидается, что радиусы экзопланет он сможет определять с погрешностью не более 3%, а массы — до 10%. Вообще спектр научных задач нового телескопа весьма широк: в них входят поиски экзокомет и экзолун, колец и аккреционных дисков, протопланет в окрестностях молодых светил. Но главное — астрономы надеются наконец-то получить надежный инструмент для выявления и изучения свойств земледобных объектов в зонах обитаемости звезд солнечного типа.

Еще один космический телескоп ESA

В конце марта Европейское космическое агентство опубликовало пресс-релиз, в котором сообщило о выборе следующей научной миссии среднего класса, реализуемой в рамках программы Cosmic Vision. Выбор пал на проект космического телескопа Ariel (Atmospheric Remote-sensing Exoplanet Large-survey). Его конкурентами были обсерватории по изучению космической плазмы Thor (Turbulence Heating Observer) и физики высокоэнергетических частиц Xipe (X-ray Imaging Polarimetry Explorer).

Ariel предназначен для исследования атмосфер теплых и горячих экзопланет в диапазоне от супер-Земель до газовых гигантов. Он будет оснащен зеркалом диаметром 1 м и сможет вести наблюдения как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне. За время своей миссии телескоп должен изучить как минимум



тысячу планет иных звезд.

Чтобы определить состав газовой оболочки экзопланеты, Ariel будет регистрировать изменения спектра во время ее прохождения по диску звезды. Ожидается, что его приборы позволят выявить присутствие воды, углекислого газа, метана, а также более экзотических компонентов. В некоторых случаях новый телескоп даже сможет «рассмотреть» облачность, сезонные и суточные изменения атмосферы. Эти данные помогут

заполнить пробел в наших знаниях о связи между свойствами звезд и их планетоподобных спутников.

Ariel должен отправиться в космос в середине 2028 г. Для его запуска собираются использовать разрабатываемую сейчас ракету Ariane 6. Она выведет обсерваторию в точку Лагранжа L_2 системы «Земля-Солнце», находящуюся на расстоянии 1,5 млн км от нашей планеты в противосолнечном направлении.

Генеральные спонсоры:



EARTH
OBSERVING
SYSTEM

Listening To The Pulse Of The Planet

A

S

G

AUTO
Standard
Group

Издается при поддержке:



Национальная академия наук Украины



Государственное космическое агентство Украины



Главная астрономическая обсерватория НАН Украины



Аэрокосмическое общество Украины



Информационно-аналитический центр «Спейс-Информ»



Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета



Украинская астрономическая ассоциация

Международное Евразийское астрономическое общество